

Joni Heikkonen

# Luotettavuustestauslaitteiston suunnittelu ja toteutus hammasröntgenlaitteelle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

11.5.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Joni Heikkonen Luotettavuustestauslaitteiston suunnittelu ja toteutus hammasröntgenlaitteelle 38 sivua + 2 liitettä 11 Toukokuu 2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka ja terveydenhuollon tekniikka
Ohjaaja	Chief Engineer Jarmo Suni
<p>Insinööritöön tarkoituksena on todentaa Kavo Kerr Groupin valmistaman hammasröntgenkartiokielatietokonetomografialaitteen uuden mallisen pilarin kaapeleiden toimivuus. Laitteen potilaan ympärillä kiertävää sensoria ja putkipäätä liikuttavaan pilariin tehtiin mekaanisia muutoksia, jonka johdosta uusilla osilla varustettu malli tulee laittaa sen käyttöaikaa vastaavaan kestotestiin. Työssä tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa testausjärjestelmä, jonka avulla voidaan todentaa pilarin uuden revision täyttävän sille asetetut luotettavuusvaatimukset. Tarve pilarien testaukselle tuli tuotekehityksen pyrkimyksestä parantaa laitteen valmistamistuksen kustannustehokkuutta. Uudenmallisista pilareista ja niiden kaapeleista tuli varmistaa, että ne täyttävät yrityksen käyttämien laatuja järjestelmien vaatimukset.</p> <p>Työn aikana käytiin läpi testauksen tarpeita ja vaatimuksia laitteen laadun varmistamiseksi. Yrityksen vaaditun luotettavuustason varmistamiseksi laskettiin, että testiä tulee ajaa vähintään 62 000 kierrosta, kun testeissä käytetään kuutta testilaitetta.</p> <p>Testien saavutettua 62 000 kierroksen rajan, mittauksissa todettiin, että kaapelit vielä täyttävät niiden vaatimukset, kahta aikaisemmin testauksissa mitattua vika-arvoa lukuun ottamatta. Toimivuuden varmistamisen jälkeen päätimme että testejä jatketaan pidemmälle kunnes niissä havaittaisiin jotain vikoja tai ne eivät enää täyttäisi niille asetettuja raja-arvoja. Tämän avulla voitaisiin selvittää, kuinka pitkään kaapelit voisivat arviolta kestää normaalissa käytössä, vaikka laitteen odotettu elinikä olisi saavutettu.</p> <p>Testauksen lopputuloksena oli, että kaapelit kestäisivät niiltä vaaditun määrän testisyklejä ja ne voitaisiin verifioida tuotannon käyttöön kunhan mahdollisten valmistus vikojen todennäköisyys saadaan selvitettyä. Kaapelit siis täyttivät niiden luotettavuusvaatimukset, jos ei oteta huomioon mahdollisia valmistusvikoja, joista tehtiin myös ethernet-kaapelin valmistajalle reklamaatioilmoitus, testauksen perusteella. Kyseisten vikojen selvittäessä kaapelit voitaisiin verifioida käyttöön.</p>	
Avainsanat	laatu, luotettavuusvaatimus, kestotesti, 3-D-röntgenkuva, röntgenlaite, tietokonetomografia, elinikätestaus

Author(s) Title	Joni Heikkonen Designing and implementing of reliability testing equipment for dental X-Ray imaging device
Number of Pages Date	38 pages + 2 appendices 11 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor(s)	Jarmo Suni, Chief Engineer
<p>The purpose of this thesis is to verify functionality of the new column revisions cables of dental X-ray systems produced by Kavo Kerr Group. Column that holds devices sensor and tube head in correct height has been mechanically modified, which means that new revision must be run through its lifetime equivalent reliability test. The purpose of the project is to plan and implement testing system which can be used to verify the reliability requirements of the devices new column revision. Need for this project came when R&amp;D of the company attempted to improve cost-effectiveness of the device. New revisions columns had to be verified to fulfill the quality system requirements of the company.</p> <p>During the project we went through the requirements and demands of the testing to verify devices quality. To fulfill quality requirements set by the company we decided to drive testing through at least 62 000 test cycles when there's six devices being used in testing.</p> <p>Once testing had reached 62 000 test cycles, measurements show that cables fulfilled their requirements, not including two faulty values measured before in testing. To ensure functionality of the cables we decided to continue testing further until we could find some faults in the cables or when they wouldn't fulfill their required limit values anymore. With this we could clarify how long cables could hold out in normal usage even though devices expected lifetime would have been reached.</p> <p>Result of the testing was that cables would endure the required amount of test cycles and they could be verified so that production could start using the new parts once possibility of manufacturing defects is cleared. In the end cables did fulfill their requirements if we don't take account on possible manufacturing defects. Reclamation request was sent to manufacturer of the ethernet cables based on the endurance testing. Once manufacturing defect problem would be solved, cables could be verified.</p>	
Keywords	quality, reliability, endurance test, 3-D imaging, X-ray device, computed tomography.

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kavo Kerr Group ja orthopantomografialaitteet	2
	Kavo Kerr Groupin historia	2
2.1	Ortopantomografialaite	3
2.2	Ortopantomografia laitteen muutokset	5
2.3	Testattavat kaapelit	6
2.4	Testissä käytettävät laitteet ja työkalut	11
3	Testaus	13
3.1	Kaapeleiden luotettavuuden varmennus	13
3.2	Testauksen toistomäärä ja luotettavuus	15
	Mitattavat arvot	18
3.3	Liittimien vaikutus mittaustuloksiin	20
3.4	Ilmenneitä ongelmia	21
	Ethernet-kaapeli ongelma 10 000 syklin jälkeen	21
	Ethernet-kaapeli ongelma 50 000 syklin jälkeen	23
	Yleisesti huomattavia ongelmia	23
4	Testauksen tulokset	24
4.1	Verkkovirtakaapeleiden AWG 16-johtimet	25
	Päätelmä AWG-johtimien resistanssiarvoista	25
	Päätelmä AWG-johtimien-jännitehäviöarvoista	26
	Päätelmä AWG-johtimien eristysvastuksista	27
4.2	Ethernet-kaapelit	28
	Päätelmä ethernet-kaapeleiden resistanssiarvoista	28
	Päätelmä ethernet-kaapeleiden tiedonsiirtonopeustestistä	29
4.3	Valotuskaapelit	30
	Päätelmä valotuskaapeleiden resistanssiarvoista	30
4.4	Testauksen lopputulos	30
4.5	Luotettavuustestauksen jälkeiset testit	31
5	Yhteenveto	35
	Lähteet	37

## Liitteet

Cables 215724 R1, 213433 R1 and 215723R1 Endurance Test Report

Column and Cables 215724 R1, 213433 R1 and 215723R1 Endurance Test Report

## Lyhenteet

3D kuvaus    Kolmiulotteinen kuvaus.

AWG        American Wire Gauge.

FOV        Field of view, laitteen näkökenttä.

I            Virta.

Kevi        Keltavihreä kaapeli.

R            Resistanssi.

t            Aika.

TT          Tietokonetomografia.

U            Jännite.

Vave        Value Engineering, Kustannustehokkuus parannus.

## 1 Johdanto

Kavo Kerr group on terveysteknologian vientiyritys, joka valmistaa, myy ja markkinoi hampaiston ja pään alueen kuvantamiseen käytettäviä panoraama- ja 3D-röntgenkuvantamislaitteita. Insinööritöön aiheena on toteuttaa ja raportoida hammaskuvantamislaitteen pilarin uusien kaapeleiden elinikätestaus. Tarve tälle projektille tuli, kun tietyn mallisiin Kavo Kerr groupin valmistamiin hammasröntgenkartiokeilatietokonetomografialaitteisiin tehtiin muutoksia parantamaan niiden kustannustehokkuutta.

Testattavan röntgenlaitteen peruseräteenä on kiertää potilaan ympäri ja kuvata potilasta jatkuvasti liikkeen aikana, jonka jälkeen otetut kuvat voidaan pinota ja niistä voidaan muodostaa 3D-kuvia. Panoraama kuvissa potilaasta otetaan tyypillisesti vain yksi kuva mutta myös niissä on mahdollisuuksia ottaa monta kuvaa saman valotuksen aikana.

Koko laitteen runkona toimii pilari, joka tukee potilaan yläpuolella olevaa vaunua, johon on kiinnitetty potilasta kiertävä sensori sekä putkipää. Laitteen vaunua tukevaa ja sen korkeutta säätelevälle pilarille tehtiin rakenteellisia ja materiaali muutoksia. Yrityksen suunnitteluosasto pyrki parantamaan laitteen kustannustehokkuutta muuttamalla pilarin rakennetta ja vaihtamalla siinä käytettäviä materiaaleja. Uuden pilarin oletetaan olevan kestävämpi ja edullisempi valmistaa kuin sen aikaisempi malli. Muutos pilarille tehtiin laajamittaisessa VAVE (Value engineering) -projektitoteutuksessa.

Muutosten seurauksena laitteen uuden revision toimivuus ja luotettavuus tulee todentaa, mikä on tämän opinnäytetyön aiheena. Projektissa keskitytään testaamaan laitteen uuden pilarin sekä siinä kulkevien kaapelien kestävyyttä mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään pääosin kaapeleiden kestotesteihin ja niiden testaukseen ja sivuamme myös testaukseen liittyvää teoriaa. Pilarin kestotestin tuloksia tullaan kuitenkin käyttämään hyväksi tulosten tulkinnassa.

Kuvantamislaitteen oletettu käyttöikä on noin kymmenen vuotta, josta johdetaan kuinka paljon liikesyklejä testattavien kaapeleiden on käytävä läpi, jotta niillä voitaisiin täyttää

yrittäjien säätämät laatukriteerit. Kaapeleiden suoritettua vaadittu määrä testisyklejä ja niiden läpäistyä viimeiset laatutestaukset ne voitaisiin verifioida tuotannon käyttöön. Mikäli kaikki kaapelit toimivat ilman ongelmia, niiden saavutettua kymmentä vuotta vastaavan määrän toistoja voitaisiin testejä jatkaa vielä pidemmälle jotta nähdään milloin niiden hajoamista alkaisi tapahtua ja mihin ne mahdollisesti hajoavat.

## 2 Kavo Kerr Group ja orthopantomografialaitteet

Kavo Kerr Group terveysteknologian vientiyritys, joka perustettiin alunperin vuonna 1964 valmistamaan teollisesti ja kaupallistamaan panoraamaröntgen kuvantamiseen käytettäviä laitteita. Kavo Kerr Group suunnittelee, valmistaa, myy ja markkinoi ratkaisuja hampaiston ja pään alueen kuvantamiseen. Nykyään Kavo Kerr Group kuuluu yhdysvaltalaiseen tiede- ja teknologia-konserni Danaheriin ja toimii kansainvälisesti terveydenhuollon teknologian markkinoilla. Kavo Kerr Group työllistää nykyään noin 400 henkilöä Tuusulan toimipisteessään.

Kavo Kerr Groupin tuotekehitys sijaitsee Suomen toimipisteessä Tuusulassa, jossa myös tämän opinnäytetyön projekti on toteutettu. Suomessa sijaitsee tuotekehityksen lisäksi laitteiston valmistus, markkinointi ja myyntiorganisaatio. Näiden lisäksi Kavo Kerr Groupilla on Yhdysvalloissa, Saksassa, Ranskassa ja Italiassa myyntiin keskittyneitä toimipisteitä ja yhtiön jälleenmyyjä toimii yli 50 maassa ympäri maailmaa [1.]

### Kavo Kerr Groupin historia

Vuonna 1946 Professori Y.V.Paatero julkaisi ensimmäisen tutkimuksensa panoraamakuvauksesta ja jo vuotta myöhemmin hän rakensi keksintöönsä perustuvan ensimmäisen toimivan protolaitteen, Parablografin. Paatero kehitti laitetta edelleen vuosina 1951-1957 ja vuonna 1961 Paatero ja diplomi-insinööri Timo Nieminen kehittivät ensimmäisen teolliseen valmistukseen soveltuvan hampaiston panoraamaröntgenkuvauslaitteen, tämän seurauksena lanseerattiin ORTHOPANTOMOGRAPH®. Itse yritys perustettiin vasta vuonna 1964 nimellä Ruusuvaara Oy kyseisen röntgenlaitteen ympärille.

Historiansa ajan Kavo kerr Group onkin kulkenut monella eri nimellä, vuonna 1967 Ruusuvaara Oy, vaihtoi nimensä Palomex Oy:ksi ja vuonna 1977 Instrumentarium Oy:n ostaessa Palomex Oy:n perustettiin SOREDEX Oy. 1981 silloinen SOREDEX Oy siirtyi hetkellisesti Orion Group Oy:n omistukseen. Palomex Oy vaihtoi nimensä Instrumentarium Imaging:iksi 1988. 2001 Instrumentarium Oy osti SOREDEXin, jonka jälkeen 2003 General Electric (GE) osti Instrumentarium Oy:n. Instrumentarium Imaningi:sta ja SOREDEX:ista muodostettiin tällöin GE Healthcaren Dental yksikkö. SOREDEX jatkoi tällöin omalla nimellään mutta Instrumentarium Imagingin nimi muutettiin GE Healthcare:ksi. Altor Equity Partners osti GE:ltä dental-liiketoiminnan 2005, josta perustettiin Palodex Group Oy jatkamaan Instrumentarium Dentalin ja SOREDEXin emoyhtiönä. 2009 Palodex Groupin osti Altorilta sen nykyinen emoyhtiö on Danaher Corporation. Vuonna 2016 Palodex Groupin nimi vaihdettiin sen nykyiseen muotoon Kavo Kerr Groupiksi. [1.]

## 2.1 Ortopantomografialaite

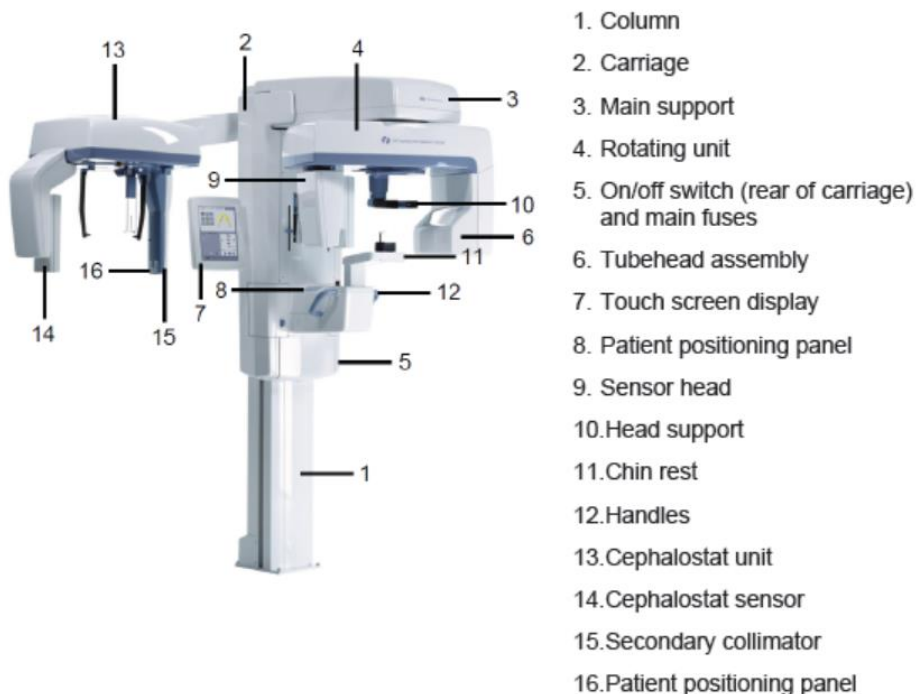
Kavo Kerrin valmistama ortopantomografialaite on hampaiden ja kasvojen kuvaamiseen käytetty tomografia- eli kerroskuvauslaitteisto. Laitteen toiminta perustuu röntgensäteilyyn mutta normaalista röntgenkuvauksesta poiketen, laite kiertää kuvauksessa potilaan pään ympärillä lähettäen jatkuvasti röntgensäteilyä, jota vastaanotetaan pään toisella puolella kiertävällä sensorilla. Röntgenkuvauksen peruseräteenä on että potilaan läpi lähetetään erittäin lyhytaaltoista säteilyä, joka tämän jälkeen potilaan läpi kuljettua vastaanotetaan sensorilla tai filmillä ja mitataan, kuinka suuri osa säteilystä kulki potilaan läpi ja kuinka suuri osa jäi kudokseen. Normaalilla röntgenkuvauksella saadaan potilaasta otettua vain läpileikkauspanoraamakuvia mutta tomografiakuvauksella pystytään potilaasta saamaan myös 3D-kuvaa yhdistämällä sillä otetut kerroskuvat yhdeksi tiedostoksi. 3D-kuvilla pystytään usein näkemään ja paikantamaan kuvattavia kohteita paremmin kuin perinteisellä panoraama kuvauksella.

Tämän takia kuvausmenetelmä tulee päättää harkiten, kuvauskohteen ja oletetun vioittuman mukaan. Jos esimerkiksi tiedetään jo ennestään, mitä kohtaa pyritään tutkimaan, voi pelkkä panoraamakuvaus riittää. Pyrittäessä esimerkiksi selvittämään



murtuman sijaintia voi 3D-kuvaus olla parempi vaihtoehto sen tarkkaan paikantamiseen. [2.]

## 2.1 Main parts and controls



Kuvio 1. OP300 MAXIO hammasröntgen kuvantamislaitte ja luettelo sen tärkeimmistä osista. [3; s 11.]

Kuvassa 1 on esiteltynä OP300 MAXIO mallinen kuvantamislaitte ja luoteltuna sen tärkeimpiä osia. Testeissä keskitytään pilarin ja erityisesti sen kaapeleiden testaukseen. Pilari kannattelee vaunua, johon pään tukiyksikkö on kiinnitetty. Pääntukeen taas on kiinnitetty potilaan ympärillä pyörivä putkipää ja sensoripaneeli, joka vastaanottaa säteilyä. Kuvauksessa säteily lähtee putkipäästä ja kulkee kollimaattorin läpi sensoriin joka vastaanottaa säteilyä. Kollimaattori on kuvauslaitteessa putkipään eteen sijoitettava lyijylevy jonka peruseriaatteena on päästää vain tietystä suunnasta tulevat röntgensäteet läpi. [4, s. 45.]

Pilarissa on kiinni myös potilaan asettelupaneeli sekä sen sivussa kosketusnäyttö, jolla laitetta ohjataan. Laitteisiin voidaan myös yhdistää koko pään kuvaukseen erikoistuva kefaloyksikkö. Kyseisellä kefalolla varustetulla yksiköllä voi helpommin tehdä koko pään

kattavaa kuvausta tai tarpeen tullen kuvata myös käsiä. Kefaloyksikkö kiinnitetään pilarin takaosaan ja siihen sisältyy kefalo sensori, pääntuki sekä toinen kollimaattori.

## 2.2 Ortopantomografia laitteen muutokset

Kavo Kerrin valmistaa tällä hetkellä monia er mallisia kuvauslaitetta, mutta tässä työssä keskitytään vain NGEO-mallisten laitteiden pilareihin, joihin muutosta on suunniteltu. NGEO-mallin laitteisiin sisältyvät mallit OP 300 Maxio, OP 300 SFOV, CRANEX 3DX, CRANEX 3D, Gendex 700 ja Gendex 800. Pilarin muutokset tehtiin VAVE-toimintamallin projektina.

VAVE toimintamallilla tarkoitetaan systemaattista toimintaa jolla pyritään parantamaan tuotteiden tai palveluiden myyntiarvoa tai kustannustehokkuutta. VAVE:ssa pyritään usein vähentämään tuotteeseen tai palveluun kuluvia kustannuksia esimerkiksi vaihtamalla tuotteessa käytettäviä materiaaleja halvempiin tai muuttamalla sen rakennetta niin että sitä on halvempi valmistaa, kuten tässä projektissa ollaan tehty. [5.]

Pilarin tehtävänä on tukea ja pitää oikealla korkeudella laitteen vaunua, johon on kiinnitetty potilaan ympärillä kiertävä kuvauslaitteisto. Kuvaus laitteistoa voidaan liikuttaa potilaalle oikealle korkeudelle pilarissa sijaitsevalla moottorilla, joka kykenee liikuttamaan kuvauslaitteistoa noin 28 mm sekuntissa lineaarisessa liikkeessä. Pilarilla on korkeudensäätö rajaa noin 800 mm. Kuvauslaitteiston korkeutta säätelevä moottori on nimetty Z-moottoriksi.

Laitteen pilarin kannattelema paino voi vaihdella riippuen mallista ja siitä, onko laite varustettu isolla MFOV- (Medium Field of View) vai pienellä SFOV (Small Field of View) -kuvantamispaneelilla. Testeissä kuitenkin käytetään raskainta mahdollista mallia OP300 MAXIO:ta, jonka ylähyly painaa noin 38 kg ja pyörijä noin 58 kg, eli pilari joutuu kannattelemaan noin 96 kg painoa. Käyttämällä raskainta mahdollista mallia varmistetaan että testattavat osat toimivat myös kevyempien mallien kanssa.

Laitteen kannatteleamalla painolla ei kaapeleiden kestopotestissä ole merkitystä sillä pilarin kannatteleman painon ei tulisi vaikuttaa kaapeleihin millään merkittävällä tavalla. Pilarin kannattelema paino kuitenkin vaikuttaa pilarin kestopotestiin, jossa ylähylyyn ja pyörijän

painoa vastaamaan on asennettu lyijylevyjä noin 100 kilon edestä ylähyllyn päähän, johon pyörijä normaalisti asetettaisiin. [4.]

Uudessa pilarin mallissa on vaihdettu käytettävää materiaalia, rakennetta ja kaapelointia.

### 2.3 Testattavat kaapelit

Testin tavoitteena on varmistaa pilariin kulkevien kaapeleiden ja niitä suojaavien ja ohjaavien reitittimien mekaaninen kestävyys ja varmistaa kaapeleiden toimivuus vielä kuvantamislaitteen suoritettua sen elinikää vastaava määrä liike syklejä. Testattavat kaapelit kulkevat pilarin läpi noin kolmen metrin matkan josta osan ne kulkevat niitä suojaavassa ja tukevassa metalli reitittimessä. Kaapelit tekevät pilarin alaosassa silmukan energiansiirtoketjun sisällä, mikä mahdollistaa kaapeleiden yhdistämisen pilarin yläosaan vaikka pilarin korkeutta muutettaisiin. Kaapelit ja energiansiirtoketju on suojattu vielä metallikuorella, jonka sisällä ne tekevät silmukan. Kun testaus aloitetaan, tulee varmistaa että kaapelit ovat ehjiä suorittamalla testimittaukset, joilla varmistetaan että kaapelit toimisivat normaalissa käytössä. Vastaavat testit suoritetaan testauksen lopuksi sekä tietyin väliajoin testauksen edetessä tietyissä syklimäärissä.

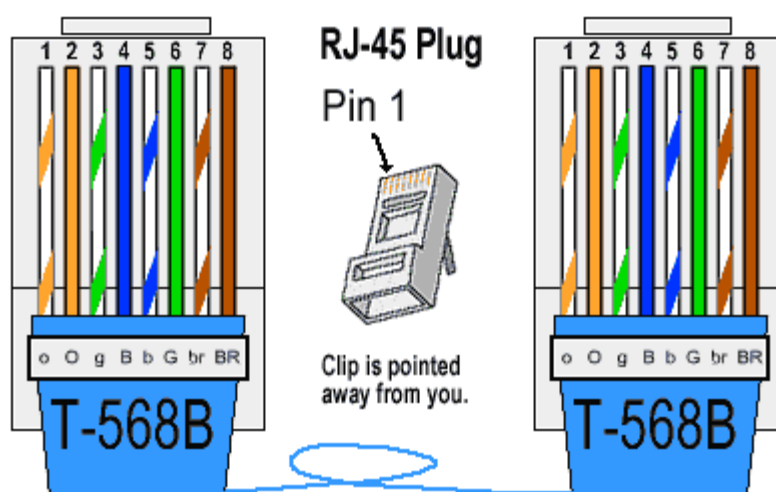
Testattavia kaapeleita oli kolme erilaista: ethernet-kaapeli, NGE0 Cable Column mains (verkkovirtakaapelit sekä niiden maadoitukset) ja exposure switch cable (valotuskytkinkaapeli). Kaapelit kulkevat pilariin ja luonnollisesti liikkuvat pilarin liikkeen mukana, joten niihin keskittyy liikkeen aiheuttamaa kulutusta. Kaapelit tekevät myös jyrkän mutkan pilarin alaosassa, mikä aiheuttaa varsinkin käännekohtassa olevalle alueelle rasitusta. Kaapeleiden asennusolosuhteiden ei tulisi vaikuttaa niiden kestävyyskylällä kaapeleiden tulisi täyttää niiden luotettavuusvaatimukset oli ne asennettu miten päin tahansa.

Lämpötilalla ja sen muutoksilla voi olla myös vaikutuksia kaapeleihin tämänkaltaisessa kestävyystestissä. Lämpötilan nousu vaikuttaa parikaapeleiden kuparijohtimiin niiden resistanssin kasvuna jolloin kaapelissa tapahtuva vaimennus lisääntyy ja näkyy esimerkiksi ethernet-kaapeleissa tiedonsiirtonopeuden laskuna. Korkeammat lämpötilat myös nopeuttavat kaapeleissa käytettävän muovin haurastumista joka selvästi laskee kaapeleiden käyttöikää. Normaalikäytössä on kuitenkin odotettavissa, että kaapeleiden

lämpötila ei pääsisi nousemaan niin korkeaksi, että se voisi vaikuttaa kaapeleiden toimiseen tai niiden kestävyYTEEN kriittisesti. Jos kuvantamislaitteiden korkeutta pyrkii vaihtamaan liian moneen kertaan lyhyen aikavälin sisällä, sen moottorin sisäinen lämpörelle kytkeytyy ja estää moottorin toiminnan ennen kuin lämmön nousulla olisi mitään merkittävää vaikutusta kaapeleihin.

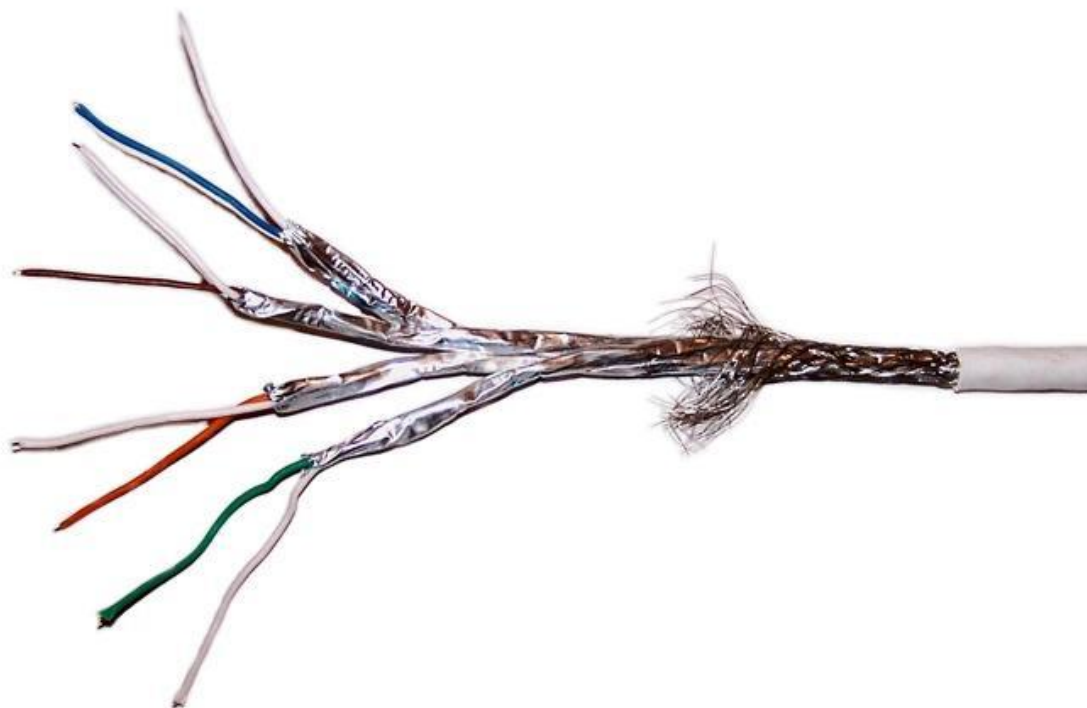
Kestotestissä kaapelit liikkuvat huomattavasti normaalia käyttöä nopeammalla tahdilla mutta kaapelit on suojattu kohdissa, joissa ne voivat hangata testipenkin puuosia tai metallia vasten. Näin ollen kaapeleiden lämpötilan ei tulisi testipenkissä nousta sellaiselle tasolle, että se vaikuttaisi niiden toimintaan. Näin ollen voidaan olla huomioimatta lämpötilan vaikutusta näissä testeissä.

*Ethernet-kaapeli* on standardi T568B-tyyppistä kaapelia jossa on sisällä neljä CAT5e-tyypin parikaapelia, jotka yhdistyvät kaapelin loppupäässä CAT6 tyypin RJ-45 liittimeen. ethernet-kaapeli kykenee siirtämään 1 Gb/sekunnissa mutta yhteys hidastuu 100 megan yhteyteen yhdenkin parikaapelin vaurioituessa ja kahden parin hajotessa yhteys hidastuu 10 megan yhteydeksi. Testattavan ethernet-kaapelin pituus on 300 senttimetriä. Ethernet-kaapelissa on yhteensä kahdeksan johdinta, jotka on kierretty neljäksi johdinpariksi häiriöiden vähentämiseksi. Ethernet-kaapeliin on kiinnitetty myös ferriittiputki, joka toimii häiriönpoistajana vähentäen kaapelin sähkömagneettista säteilyä. Ethernet kaapelin kuvassa 2 on nähtävissä ethernet kaapelin sisäisten johtimien väritykset. [6.]



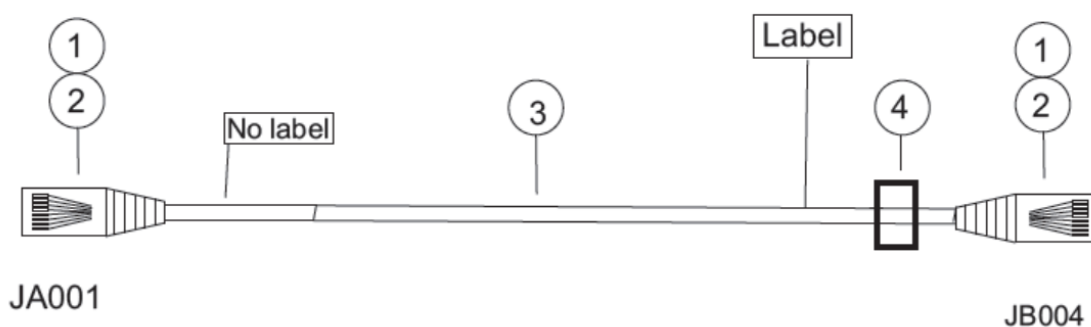
Kuvio 2. Ethernetin parikaapeleiden väritys. [6.]

Kuvassa 3 on esiteltynä ethernet-kaapeli kuorittuna ja säikeet jaettuna erilleen. Kaapelit pyritään purkamaan kuvan mukaisesti, mikäli kaapeleissa havaitaan vikaa, jotta voidaan selvittää missä kohtaa kaapelia hajoaminen on tapahtunut ja miten.



Kuvio 3. Ethernet-kaapeli kuorittuna. [7.]

Kuvassa 4 on yrityksen käyttämä piirustus ethernet kaapelista jota käytetään laitteessa ja myös tässä testauksessa.

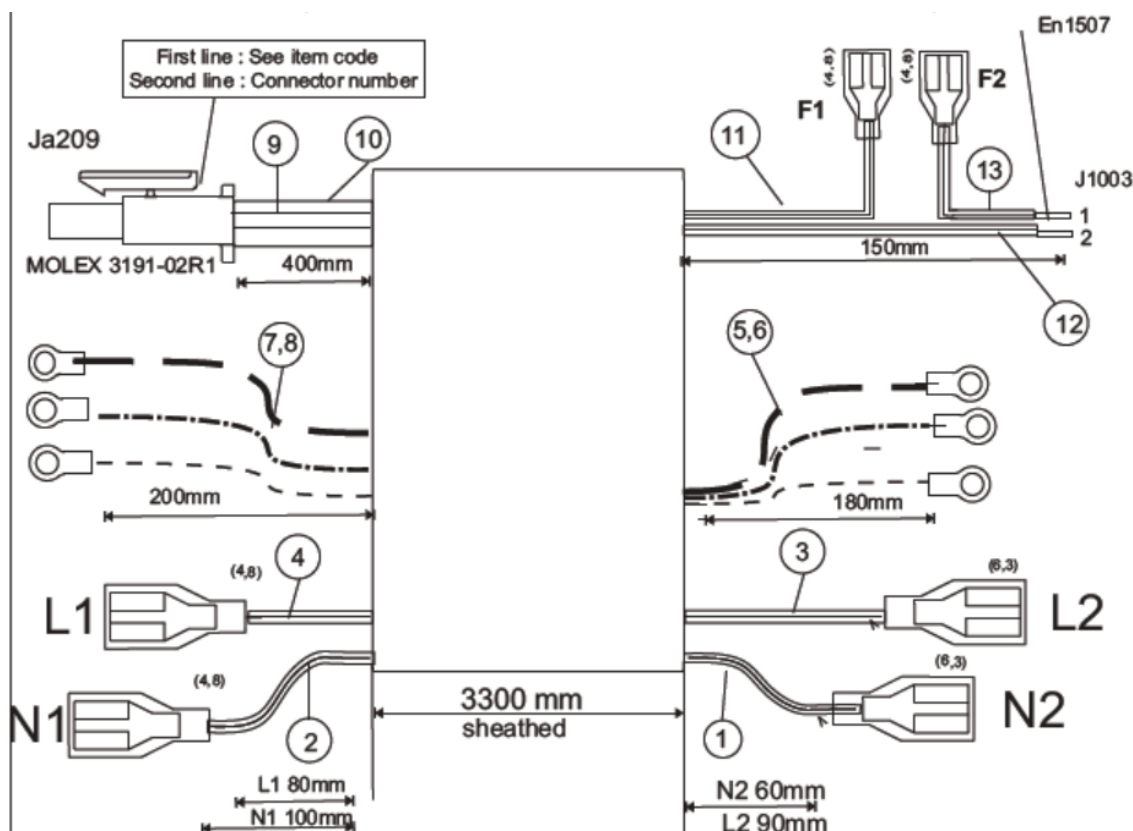


### Wiring: T568B straight

Kuvio 4. Testattavan Ethernet-kaapelin kiinnitys. [8.]

*NGEO Cable Column mains* on pilarin läpi kulkeva kaapeli joka johtaa kuvantamislaitteeseen verkkovirran ja sen maadoitukset. Kaapeli on CC-Schleppflex-PUR 574 -UL/CSA kaapelia, joka sisältää sisällään kuusi kappaletta AWG 16-johtimia. Kyseinen virtakaapeli on testejä varten kuorittu auki sen loppupäästä yksittäisten AWG-johtimien mittausta varten. Jokaisen johtimen toiminta varmistetaan erikseen sillä yhdenkin johtimen hajoaminen voi vaikuttaa kriittisesti laitteen toimintaa.

AWG-johtimista mitataan kolmea eri arvoa: resistanssia, jännitehäviötä sekä eristysvahvuutta. Kaikkien AWG-johtimien pituus nipussa on noin 290 cm. Alkuperäisten kaapeleiden pituus vaihtelee 3750 mm ja 3850 mm välillä riippuen siitä mikä kaapeli on kyseessä, mutta kaapeleita lyhennettiin huomattavasti tätä testausta varten. Mittauksia tehdessä AWG-johtimet on kytketty sarjaan Molex minifit-liittimillä. Yhdessä sarjaan kytkettynä kaikkien verkkovirtakaapeleiden yhteispituus on noin 1750 cm.



Kuvio 5. Verkkovirta kaapeleiden rakenne. [8.]

Kuvassa 5 on kaapeleiden alkuperäiset kiinnitykset, jotka ovat kuitenkin katkaistu kestotestiä varten. Tämä tekee mittauksista helpompia, kun kaapelit ovat kuorittuina ja niiltä voidaan mitata yksilölliset arvot helpommin. Yksittäiset AWG johtimet ollaan testauksessa nimetty numeroin 1–6 ja viimeinen alkuperäinen keltavihreä kaapeli maaksi.

Kolmantena testattavana on *valotuskytkinkaapeli* jota jatkossa kutsutaan valotuskaapeliksi. Kyseinen kaapeli on esiteltynä kuvassa 6 ja sitä käytetään kytkemään röntgenkuvauksessa valotus päälle tai pois. Kaapeli on AlphaWire Ecocable mini 78022-mallia, jossa kulkee suojaamattomana kaksi ohuempaa AWG 24 0,241 mm<sup>2</sup>-johtinta, jotka yhdistyvät MODU II W-1X2F-naarasliittimeen. Kaapelin pituus on 4000 mm ja molemmista sen johtimista mitataan resistanssi erikseen. Kaapeleiden päällä on mPPE-eriste ja vaippa.



Kuvio 6. Valotuskaapeli ja MODU II W-1X2F-liitin. [8.]

Testeissä mitataan vain sähkövirtaan ja mekaniikkaan liittyviä parametreja joten ne eivät aina välttämättä vastaa oikean käytön tilanteita eikä testissä toistettu liike täysin täsmää pilarin liikettä, vaan on paljon sen liikettä nopeampi rajallisen testausajan takia.

## 2.4 Testissä käytettävät laitteet ja työkalut

Taulukossa 1 esitellään kaikki testissä käytettävät laitteet ja varusteet.

Taulukko 1. Testauksessa käytettävät laitteet ja varusteet.

Model	Manufacturer	Description	Equipment ID
NGEO Platform	KKG	Mechanics proto	214532
BM202	Brymen	Multimeter	TKS016
TL-750	Sahitec Oy	Power Supply	SN: 941104
1555 10 kV	Fluke	Insulation Tester	ELE032
CableIQ	Fluke	Qualification tester	-
Latitude E6430	Dell	Computer	2z2rvy1
Latitude E6430	Dell	Computer	-

Mechanics protolla eli mekaaniikkaprotolla tarkoitetaan kaikkia testattuja kaapeleita sekä metalli reititintä ja energiansiirtoketjua, johon kaapeli kiinnitetään.

BM202 on digitaalinen yleismittari, jota käytetään mittaamaan kaapeleiden resistanssit sekä verkkovirta kaapeleiden jännitehäviö. Mittarin tasajännitteen mittaustulos on 250 mV–1000 V, jonka tarkkuus on +/- (0,5 % + 2 numeroa). Vaihtojännitteen mittaustulos on 250 mV–750 V tarkkuudella +/- (1,3 % + 3 numeroa). Resistanssin mittauksen arvoalue on 250  $\mu\Omega$ –25 M $\Omega$ , jonka mittari kertoo tarkkuudella +/- (0,4 % + 5 numeroa). [9.]



TL-750 on Sahitec Oy:n valmistama virtalähde, jota käytetään jännitehäviön mittauksessa syöttämään verkkovirta kaapeleiden läpi 20 V voltin jännite 4 ampeerin virralla.

1555 10kV Insulation tester on resistanssi testeri, joka pystyy antamaan jopa 10 kV:n jännitteen kaapeliin ja mittaamaan resistanssin kaapeleiden välillä. Insulation testeriä käytetään eristysresistanssimittauksissa mittaamaan verkkovirtakaapeleiden eristysresistanssi.

Kuvassa 7 on CableIQ tester, jolla pystytään selvittämään, millaisen yhteyden ethernet-kaapelit pystyvät saamaan ja näyttämään, kuinka pitkällä kaapelissa mahdolliset viat löytyvät. CableIQ testeriä ei varsinaisesti käytetä mittauksissa ottamaan arvoja ethernet-kaapeleista, vaan ethernet-kaapelin tiedonsiirtonopeus testataan käyttämällä kahta Dellin valmistamaa tietokonetta. CableIQ testeriä käytetään kuitenkin selvittämään missä kohtaa ethernet-kaapeli mahdollisesti menettävät yhteyden, jos kaapeleiden tiedonsiirtonopeus esimerkiksi hidastuu 100 mb:n yhteyteen tai ne eivät jostain muusta syystä läpäise tiedonsiirtonopeus testiä. [10.]



Kuvio 7. CableIQ testeri jolla selvitetään ethernet kaapeleiden mahdolliset hajoamiset, jos ne eivät läpäise datansiirto testiä. [11.]

### 3 Testaus

#### 3.1 Kaapeleiden luotettavuuden varmennus

Kaapeleiden luotettavuuden varmennuksella tarkoitetaan tässä testissä elinikätestausta, jossa tarkoituksena on varmistaa kaapeleiden fyysinen kestävyys ja toimivuus, kaapeleiden tehtyä laitteen normaalissa käytössä tapahtuvaa lineaarista liikettä sen elinikää vastaavan toistomäärän jälkeen. Kriteereinä koko laitteen kestotestin onnistumiselle on että laite toimisi huoltamatta ja säätämättä vähintään kymmenen vuoden käytön jälkeen normaaleissa olosuhteissa. Kaapelit on verifioitu, kun kaikki testit on suoritettu onnistuneesti ja testitulokset ovat olleet vaadittujen rajojen sisällä.

Laitteen pitkä elinkaari luokin testaukseen ongelman, kuinka laitteen luotettavuuskriteerit pystytään varmistamaan ilman, että siihen käytetään liikaa aikaa ja resursseja. Pelkällä laitteen käyttökokeella testit veisivät niin paljon aikaa ja kustannukset nousevat niin suuriksi, ettei se olisi kovin kannattavaa. Lainauksena kaapeleiden kiihdytetystä kestotestistä:

”Peruskäsitteenä kiihtyvyys on yksinkertainen. Oletetaan, että komponentit, joita käytetään tehostetuissa olosuhteissa (esim. korkeampi kosteus ja lämpötila), saavat samanlaisia vikoja kuin käytettäessä normaaleja olosuhteita, ainoastaan asiat tapahtuvat nopeammin. Esimerkiksi, jos korroosion viat esiintyvät tavallisessa käyttölämpötilassa ja kosteudessa, niin samanlaiset korroosion tapahtumat saadaan aikaiseksi paljon nopeammin korkeassa lämpötilassa ja kosteudessa laboratorio-olosuhteissa. Toisin sanoen voidaan ajatella kiihdytetystä ajasta, kuin että vioittumisprosessi kuvattaisiin nauhalle ja näytettäisiin se moninkertaisella nopeudella. Jokainen askel kemiallisessa tai fysikaalisessa tapahtumaketjussa kiihdytetyissä olosuhteissa johtaa samanlaiseen vioittumistilaan kuin normaaleissa olosuhteissa, ainoastaan aika-asteikolla tapahtuma-aika nopeutuu” (Tobia & Trindade 1998, 166 - 167.)

Tämän takia testaus toteutetaan sitä varten rakennetulla testipenkillä, joka kuljettaa kaapeleita, pilarin potilaskorkeudensäätöliikettä vastaavalla tavalla, mutta huomattavasti nopeammalla syklitahdilla. Näin ollen elinikätesti pystytään suorittamaan kiihdytettynä.

Hammasröntgenkuvantamislaitteen tornia pystytään liikuttamaan mekaanisesti ylös ja alaspäin noin 800 mm, joten myös testipenkin tulisi pystyä liikuttamaan kaapeleita vähintään yhtä pitkä matka. Myös pidempi liike testissä on mahdollista, jolloin testin vaadittua toistomäärää voitaisiin vähentää. Testipenkki liikuttaa kaapeleita yhden

toistosyklin aikana noin 65 cm ylöspäin ja saman määrän alaspäin, jonka jälkeen ajastettu rele kääntää liikkeen suunnan aloittaen syklin taas alusta. Yksi edestakainen liike sykli kestää arviolta noin kuusi sekuntia. Kyseinen operaatio on normaalikäyttöä huomattavasti vaativampi mutta on mekaaniselta rasitukseltaan kaapeleille samankaltainen.

Testipenkki liikkuu paineilmamoottorin avulla, joka liikuttaa raiteilla kulkevaa tasoa johon kaikki testattavat kaapelit ovat kiinnitetty. Moottoria ohjataan kahden ajastinreleen avulla, jotka ohjaavat moottoria liikkumaan yhteensä kuusi sekuntia yhden syklin aikana. Toinen releistä ohjaa koko systeemiä liikkumaan kuuden sekunnin sykleissä ja toinen vaihtaa liikkeen suuntaa aina 2,5 sekunnin liikkeen jälkeen. Releisiin on kytketty myös laskuri mittaamaan suoritettujen liikesyklien määrää.



Kuvio 8. Kaapeleiden kestop testiä ajava testipenkki pystytettynä. Paineilmamoottori ja sitä ohjaavat releet ovat vanerilevyjen takana oikealla puolella, josta voidaan myös tarkistaa suoritettujen liike syklien toistomäärä releisiin kiinnitetystä laskurista.

Kuvassa 8 on testipenkki, jolla testaus on suoritettu. Testipenkin suorittama liike on huomattavasti nopeampaa kuin itse kuvantamislaitteen korkeutta säätelevän moottorin liike, joka kykenee ajamaan pilaria 28 mm/sekunnissa ja suorittaa näin ollen vastaavan edestakaisen liikkeen noin 46,4 sekunnissa. Testipenkki suorittaa vaaditun toimenpiteen lähes kahdeksan kertaa nopeammin kuin laitteen oma moottori. Pilarin moottori joutuu normaalisti ajaessaan myös pitämään pieniä taukoja ennen kuin sillä voi ajaa uudestaan sillä moottori voi monen liiketoiston jälkeen ylikuumentua, jolloin moottorin lämpörele katkaisee sen toiminnan ja pilaria voi liikuttaa vasta, kun moottori on jäähtynyt tarpeeksi. Jos laitteeseen on kiinnitetty myös GUI (Graphical user interface) ja uusimmat käyttöjärjestelmät, niin laitteen ohjelmat estävät moottorilla yli 60 sekunnin pilarin liikuttamisen.

Moottorin toimintaan ja kestävyyskeskitytään enemmän pilarin kestopäivityksessä, jota toteutettiin kaapeleiden kestopäivityksen yhteydessä. Liikkeen nopeudella ei pitäisi kaapeleiden toiminnan kannalta olla merkitystä, elleivät kaapelit pääsisi mahdollisesti hankaamaan jotain vasten, jolloin hankauksen kitkan aiheuttama lämpöenergia voisi vaikuttaa kaapeleiden kestävyyskeskitytään. Kaapelit on tätä varten suojattu energiansiirtoketjulla niin etteivät ne pääsisi hankaamaan mitään muuta osaa vasten.

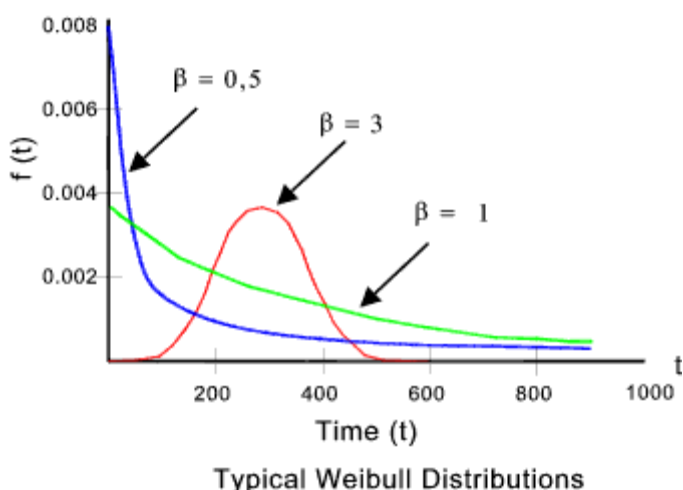
### 3.2 Testauksen toistomäärä ja luotettavuus

Kestotestin mittauksien päätarkoitus on varmistaa pilariin kulkevien kaapeleiden kestävyys ja toimivuus mitattavassa testivaiheessa. Yritys on säättänyt tavoitteen, että 90 % laitteista tulee toimia vielä 10 vuoden käyttöajan jälkeen, joka voidaan normaalikäytössä kääntää noin 50 000 potilaalla suoritettavaan kuvaukseen ja näin ollen vaadittavaan pilarin korkeuden säätöliikkeeseen.

Jotta voidaan päätyä tulokseen että 90 % laitteista toimisi vielä 10 vuoden käytön jälkeen, tulee perehtyä tilastolliseen todennäköisyyden tulkintaan. Todennäköisyys tulkinnalla käsitellään hajoavien laitteiden todennäköisyyttä niiden suhteellisen osuuden raja-arvona. Todennäköisyystulkinnan mukaan vaaditaan satunnaisilmiöstä riittävän suuri määrä tapauksia otoksena, jotta niistä voidaan määrittää kokeellisesti satunnaismuuttujan todennäköisyysjakauma. Nämä arvot tarkoittavat testissä laitteiden yleistä normaalikäytössä tapahtuvaa laitteen rikkoutumisen normaali hajontaa. Kyseiset

tilastot perustuvat aikaisempien kokeellisten ja asiakkaiden normaalikäytössä hajonneiden laitteiden tilastoihin. Näistä tilastoista saaduista arvoista saadaan laskettua Weibull-jakauman jota käytämme hyväksi weibayessin yhtälössä laskemaan kuinka paljon testissä tulee tehdä toistoja jotta testi saavuttaa halutun luotettavuuden. [12.]

Weibull-jakauman tiheysfunktio merkitään Weibullin yhtälössä  $\beta$ :llä joka indikoi minkälainen on laitteiden normaali hajoamis muoto. Jos  $\beta$  on alle yhden, se indikoi nuorena hajoavista osista, huonon laadun takia. Tasan yhden oleva  $\beta$ :ta tarkoittaa täysin satunnaista hajoamista, joka ei ole verrannollinen aikaan, tällöin hajoaminen johtuu satunnaistapahtumista kuten ihmisten virheistä tai luonnollisista ilmiöistä. Jos  $\beta$  on enemmän kuin yksi, se indikoi laitteiden vikaantumistiheyden kasvavan ajan myötä. Tämä tapahtuu, kun osan käytössä tapahtuu eroosiosta tai korroosiosta johtuvaa kulumista ja vanhenemista.



Kuvio 9. Esimerkkejä Weibullin kaltevuuskulman muodosta. [13.]

Tässä testissä käytetään Weibullin hajontaa selvittämään vaadittujen testisykliä määrää, jotta saavutettaisiin tavoiteltu 90 % luotettavuus 70 % todennäköisyydellä. Weibullin hajontaa käytetään yleisesti luotettavuustekniikassa komponenttien eliniän tarkasteluun tilanteissa joissa komponentteja ei huolleta ja todennäköisyys sille, että komponentti hajoaa tai vikaantuu voi muuttua sen käytön aikana.

Bayesin kaava voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Missä

$P(A)$  on tapahtuman A priori-todennäköisyys

$P(A|B)$  on tapahtuman A posteriori-todennäköisyys eli tapahtuman A todennäköisyys ehdolla B

$P(B|A)$  on tapahtuman B todennäköisyys ehdolla A

$P(B)$  on tapahtuman B priori-todennäköisyys.

Yhtälössä 2 sovelletaan Weibullin hajontaa Bayesin kaavaan selvittämään osan luotettavuuden todentamiseen vaadittujen testikertojen määrää. Kyseistä yhtälö voi käyttää myös testattavien laitteiden, saavutetun luotettavuuden tai tilastollisen luotettavuustason laskemiseen. Edellytys tämän yhtälön käytössä on kuitenkin että Weibullin hajonta on selvillä ennen testausta.

$$R(t_0) = \exp \left[ \frac{\ln(1-C)}{n \left( \frac{T}{t_0} \right)^\beta} \right] \quad (2)$$

Kuvio 10. Weibayessin yhtälö

Kuvion 10 yhtälössä

$R(t_0)$  on luotettavuus ajanhetkellä "t0"

$t_0$  on laitteen tavoiteikä

$n$  on testi kohteiden lukumäärä

$T$  on testausaika jokaiselle testattavalle osalle

$\beta$  on Weibullin muoto parametri tai Weibullin kaltevuuskulma

$C$  on tilastollinen luotettavuustaso

Weibayessin yhtälöstä johdetaan kaava jonka avulla voidaan selvittää  $T$  eli kuinka paljon testisyklejä testauksessa tulee suorittaa jotta saavutetaan toivottu luotettavuus 90 %.

$$(((t_0^\beta) * \ln(1-C)) / (n * (\ln(R(t_0)))^{1/\beta})) = T \quad (3)$$

$T$  on vaadittu määrä testisyklejä luotettavuustaso  $R(t_0) = 90\%$  saavuttamiseksi.

Testeissä yksi olennaisimmista arvoista on Weibullin kaltevuuskulman kuvaajan muotoa kuvaava  $\beta$ :ta arvo.  $\beta$  perustuu laitteiden yleistä hajoamisaikaa kuvaavaan kuvaajaan joita on nähtävissä kuviossa 9. Kun laitteiden normaalikäytössä tapahtuvaa hajoamista kuvaavaa kuvaajaa verrataan kyseisiin muotoihin, nähdään että kuvaaja olisi

verrattavissa weibullin kuvaajaan kun  $\beta$ :lla on arvo kolme, jonka perusteella voidaan antaa  $\beta$ :lle arvoksi kolme myös luotettavuuslaskenta kaavaan. Testattavia kaapeli sarjoja jotka sisältävät kaikki erilaiset kaapelit on testissä kuusi, joten  $n=6$ . Normaali tavoiteltu elinikä laitteelle on 50 000 sykliä joten  $t_0$ :ksi sijoitetaan arvo 50 000. Tilastollinen luotettavuustaso on 70,00 %. Kun nämä arvot sijoitetaan Weibayessin yhtälöstä johdettuun yhtälöön 2 saadaan tulokseksi:

$$(((50\,000^3) \cdot \ln(1-0,7)) / (6 \cdot \ln(0,9)))^{1/3} = \underline{61\,977 \approx 62\,000} \quad (4)$$

Laskelmien avulla voidaan perustella, että kaapeleiden tulee suorittaa testissä vähintään 62 000 liikesykliä onnistuneesti siten että kaapelit vielä täyttävät niiden laatuvaatimukset, jotta saavutetaan vaadittu 90 % luotettavuusarvo. Nämä laskelmat pätevät vain ”zero failure”-tuloksissa, mikä tarkoittaa sitä, että yksikään kaapeli ei saa rikkoutua testauksen aikana jotta laskuja voidaan käyttää luotettavasti luotettavuuden varmistamiseen. [14.]

Kaapeleista mitataan arvot myös testauksen aikana, jotta havaitaan, milloin mahdollisia kaapeleiden hajoamisia tapahtuu. Mittaukset tehdään kaapeleille 2500, 5000, 10 000, 20 000, 30 000, 40 000, 50 000 ja 62 000 testisyklin jälkeen.

#### Mitattavat arvot

Kaapeleiden toistettua haluttu syklimäärä niistä mitataan resistanssi- ja johtavuus arvoja, jotta voidaan varmistua siitä että kaapelit toimisivat käytön jälkeen myös normaalisti röntgenlaitteeseen kiinnitettyinä.

Verkkovirtakaapeleissa kulkee seitsemän pienempää AWG 16-johdinta, jotka jokainen haarautuvat omiin kohteisiin pilarin yläpäässä, paitsi maadoituskaapelit, jotka kaikki maadoittuvat samaan kohtaan. Näistä tulee jokaisesta ottaa omat mittaukset jotta voidaan varmistua että jokainen niistä toimii yksilöllisesti. Muista kaapeleista poiketen verkkovirtakaapelien päät on katkaistu ja niiden päihin on kiinnitetty Molex minifit-liittimet mittausten helpottamiseksi. Kiinnittämällä kaikki kuusi testattavaa erillistä kaapelia sarjaan, voidaan huomattavasti vähentää vaadittujen mittausten määrää kun jokaisesta kaapelista ei jouduta tekemään seitsemää mittausta joka mittauskerta. Verkkovirtakaapeleista mitataan kolme eri arvoa, niiden resistanssi, eristysvastus sekä jännitehäviö.



Resistanssimittauksia ei suoriteta varsinaisesti selvittämään kaapelin resistanssia vaan varmistamaan se, että kaapeli ei ole täysin katkennut ja kaapelin päiden välillä saadaan vielä yhteys toisiinsa. Resistanssimittaukset suoritetaan Fluke-yleismittarilla kiinnittämällä yleismittarin päät sarjassa olevien AWG-kaapeleiden vastaaviin päihin. Koska kaapelit ovat kytketty liittimillä sarjaan, on aina mahdollisuus että liitokset olisivat huonosti kiinnitetty, jos resistanssi mittauksessa todetaan että kaapeleiden välillä ei ole yhtään resistanssia. Se että kaapeleiden välillä saadaan mitattua edes jonkinlainen resistanssiarvo voidaan todistaa että kaapelit ovat vielä jossain määrin toimivia mutta keskimäärin testissä oletus on että resistanssi kaapeleilla olisi noin 0,1–0,3 ohmia.

Eristysresistanssimittaukset tehdään kaapeleille jotta voidaan varmistua että jännitteiset osat ovat riittävästi eristettyjä maasta. Kaapelien eristysmateriaali kuluu ja sen laatu heikkenee ajan myötä, joten testauksella varmistetaan että kaapeleiden eristeet eivät pääse heikkenemään liikaa laitteen elinaikana. Eristysresistanssi mitataan kaikkien jännitteisten johtimien ja maan välillä.

Eristysresistanssimittaukset suoritetaan Fluke 1555 10 kV Insulation tester-nimisellä laitteella, jota käytetään syöttämään kaapeliin 1000 voltin jännite, jolloin mittauspisteiden välillä mitataan niiden välinen eristysresistanssi. Tulokset ilmoitetaan muodossa MΩ, GΩ tai TΩ joka toimii kahden johtimen välisen eristyksen sekä vuotovirran laadunilmaisemisena. Mittauksissa tulee ottaa huomioon myös liittimien vaikutus mittaustuloksiin, sekä ulkoiset tekijät kuten lämpötila ja ilmankosteus. Mittauksessa kaapelit kytketään sarjaan ja sarjan päihin kytketään Molex-liittimet. Toiseen päähän, josta mittaukset tehdään, kytketään liitin, josta ulos tulevat kaapelit on kuorittu mittausta varten. Toisessa päässä olevaan liittimeen ei ole kytketty mitään vaan kaapelien päät ovat liittimessä, jotta niiden päät eristyvät toisistaan mahdollisimman tehokkaasti. [15.]

Jännitehäviömittauksessa selvitetään että kaapeleiden välillä ei tapahdu liian suurta jännitteen katoamista suhteessa sen pituuteen. Mitä pidempi kaapeli on, sitä enemmän se luonnollisesti kadottaa jännitettä mutta tietysti myös mittauspisteiden välillä olevalla liitosten määrällä on väliä. Jännitehäviömittauksessa kaapeliin syötetään 20 voltin jännite 4 ampeerin virralla Guardianilla. Jännitehäviötä mitataan yhteen liitettyjen kaapeleiden päistä, joista toisessa on kiinni 1 ohmin vastus ja toisessa normaali Molex-



liitin, josta jokainen AWG 16-kaapeli on johdettu ja kuorittu erilleen, jotta niiden kautta voidaan helpommin johtaa jännitettä sekä mitata jännitehäviötä.

Ethernet-kaapeleista mitataan verkkovirtakaapeleiden tapaan resistanssi, mutta sen lisäksi myös datansiirtonopeus jotta voidaan varmistua siitä että kuvantamislaitte säilyttää 1 gigan yhteyden tietokoneeseen. Laite vaatii toimiakseen 1 gigan yhteyden, jotta se pystyy lähettämään kuvauksessa saatavia suuria kuvatiedostoja. Tiedonsiirtonopeutta mitataan siirtämällä tiedostopaketteja kahden tietokoneen välillä. Testattavaa kaapelia käytetään muodostamaan yhteys kahden tietokoneen välille, jonka jälkeen ohjelmalla lähetetään 100 sekunnin ajan tiedostoja tietokoneesta toiseen.

Ohjelman suoritettua tiedostojen lähettäminen, se laskee keskiarvon tiedonsiirtonopeudelle sekuntia kohden. Testattavien kaapeleiden tulisi kyetä ylläpitämään 1 gigan yhteyttä, joka tarkoittaa sitä, että mittaustulosten tulee olla vähintään 900 megabittiä sekuntia kohden tai muuten kaapeli ei kykenisi lähettämään siltä vaadittua tiedostomäärä oikeassa kuvauksessa. Resistanssimittaus suoritetaan käyttäen Fluke-mittaria, jolla mitataan resistanssi ethernet-kaapelin päästä käyttäen sen päissä olevia metallisuoja mittauspisteinä. Verkkovirtakaapeleiden tapaan tällä pyritään lähinnä selvittämään, ettei kaapelin suojaus ole päässyt täysin katkeamaan.

Valotuskytkinkaapeleista mitataan ainoastaan resistanssi. Mittaus suoritetaan molemmille kaapelin johtimille jotta varmistutaan molempien toimivuudesta.

### 3.3 Liittimien vaikutus mittaustuloksiin

Verkkovirtakaapelit on kiinnitetty sarjaan käyttäen hyväksi Molex-liittimiä. Niillä on vaikutusta ainakin verkkovirta kaapeleiden jännitehäviö testin kannalta, sillä liitoksissa luonnollisesti tapahtuu normaalia enemmän jännitehäviötä.

Pilarin kestotestissä verkkovirta kaapeleiden arvot mitattiin jokaisesta kaapelista erikseen eli kaapeleita ei oltu kytketty kaapelitesterin tapaan sarjaan eikä niiden välillä näin ollen ollut myöskään liittimiä, jotka olisivat voineet vaikuttaa jännitehäviöön. Mitattujen arvojen perusteella pystyttiin näkemään, että liittimien aiheuttama jännitehäviö on suhteellisen pientä, eikä näin todennäköisesti vaikuta merkittäväällä tavalla jännitehäviö testin mittaustuloksiin.

Liittimillä voi olla vaikutusta myös kaapeleiden eristysresistanssiarvojen mittauksessa mutta mittaustulokset olivat liittimiä käyttäessäkin hyvin raja-arvojen sisäpuolella. Eristysresistanssit olivat vielä tarpeeksi hyvin raja-arvojen sisällä, että päätettiin, ettei liittimien vaikutusta tarvitse ottaa huomioon elleivät mittaustulokset täytä enään niiltä vaadittuja kriteereitä. Liittimien vaikutusta tuloksiin tutkitaan enemmän, mikäli verkkovirtakaapeleiden mittaustulokset eivät enään ole raja-arvojen sisäpuolella.

### 3.4 Ilmenneitä ongelmia

#### Ethernet-kaapeli ongelma 10 000 syklin jälkeen

Ensimmäiset ongelmat testauksessa todettiin 10 000 testisyklin kohdalla, jolloin mittauksissa huomattiin että kuudennen testattavan ethernet-kaapelin tiedonsiirtonopeus oli selvästi laskenut. Aikaisemmin kaikkien Ethernet-kaapelin tiedonsiirtonopeudet olivat olleet lähes poikkeuksetta 934 Mb/sekuntissa, mutta 10 000 testisykliin saavuttaessa, kuudes ethernet-kaapeli antoi arvoksi vain noin kymmenesosan siitä eli 93,9 Mb/sekunnissa.

Arvoista pystyttiin toteamaan, että ethernet-kaapeli oli mahdollisesti vioittunut jotenkin ja vaihtanut sen aikaisemmin käyttämän 1 Gb/sekunnissa kaistan 100 Mb:n kaistaan. Testit keskeytettiin ja ethernet-kaapeleita alettiin tutkimaan mahdollisten kulumisten ja vikojen varalta.

Aluksi ethernet-kaapelin toimivuutta lähdettiin tutkimaan Fluke ethernet-mittarilla, jolla pystyttiin havaitsemaan, että kaksi ethernetin sisäisistä kaapeleista ei yhdistynyt enää täysin. Kaapelit yhdistyivät joissain asennoissa mutta yhteys menetetään, jos ethernet-kaapelia liikuteltiin eri asentoihin. Mittarilla pystyttiin toteamaan, että katkos tapahtuu noin 1,2 ja 1,5 metrin kohdalla. Kyseinen 1,2 metrin kohta kaapelia sijaitsi juuri reitittimen osassa jossa kaapeli teki mutkan, tästä voitiin päätellä että kaapeli olisi kulunut mutkan kohdalla enemmän ja katkennut sen myötä. 1,5 metrin kohta taas sijaitsee kohdassa jossa kaapeli joutui olemaan terävää metalli reunaa vasten. Oli myös olemassa mahdollisuus, että kyseinen kohta olisi voinut kuluttaa ethernet-kaapelia ja aiheuttaa sen parikaapeleiden katkeamisen.

Testien pohjalta kaapeleiden kestoprotesti päätettiin keskeyttää väliaikaisesti ja kaapeleita tarkempaa tutkimista varten, jotta selviäisi, mikä oli aiheuttanut yhteyden hidastumisen. Ethernet-kaapeleiden speksien perusteella havaittiin, että ethernet-kaapelit ovat liian pienessä kaarteessa ja joutuvat kääntymään tiukemmin kuin niiden speksit sallisivat. Tästä voitiin olettaa, että kaapeleita suojaavaa koppaa jouduttaisiin ehkä muuttamaan mikä mahdollistaisi sen, että ethernetin ei tarvitsisi olla niin tiukalla kiertteellä. Liian pienellä välillä U-käännöksen tekeminen mahdollisesti kuluttaisi ethernet-kaapeleita nopeammin kuin sen normaalikäytössä, jossa kaapelit eivät joutuisi tekemään yhtä tiukkaa mutkaa.

Nykyisessä mallissa metallikoppa, jonka sisällä ethernet ja muut kaapelit ovat, on leveydeltään noin 12,63 cm (ulkoreunasta mitattuna) mutta uudessa mallissa kaapelit joutuvat tekemään vastaavan käännöksen noin 10,63 cm leveän kopan sisällä. Valmistajan suositusten mukaan ethernet-kaapeli saisi tehdä vastaavan U-käännöksen noin 15 senttimetrin välillä. Näin ollen voidaan päätellä että kaapeleita suojaavan metallikopan pienentämisellä voi olla vaikutusta ethernet-kaapelin kestävyYTEEN. [16.]

Ethernet-kaapeli avattiin, jolloin kaapelissa oli havaittavissa, että sen sisäiset parikaapelit eivät olleet kuluneet paljoa mutta siinä kuitenkin ilmeni pieniä rakoja, joista myös kaapelin sisäinen kupari pääsi purkautumaan ulos. Purkautuma vikaa löytyi neljässä eri kaapelisäikeessä mutta vaikutusta purkautumisella oli vain kahteen kaapeliin. Vika ei ollut tyypillistä kulumaa, jota yleisesti tulisi kaapeliin tämänkaltaisessa testauksessa.

Asiaa enemmän tutkiessa päätettiin että kyseinen vika olisi todennäköisesti johtunut kaapelin valmistusviasta joka olisi aiheuttanut kuparin purkautumisen lyhyen kulutuksen jälkeen. Kaapeli on mahdollisesti ollut jo valmistajalta tullessa pienellä kiertteellä, mikä on aiheuttanut kuparin purkautumisen lyhyen käytön jälkeen sitä suojaavan muovin ulkopuolelle. Kaapelin tarkastelussa päädyttiin lopulta tulokseen, että ongelma olisi johtunut vain kyseisen kaapelin valmistusviasta. Kyseisen kaapeli korvattiin uudella ja testejä jatketaan tästä eteenpäin normaalisti. Kaapelin vaihdon takia kyseisen kaapelin testaus jouduttiin luonnollisesti aloittamaan nollasta.

## Ethernet-kaapeli ongelma 50 000 syklin jälkeen

50 000 testisyklin jälkeen ethernet-kaapeli #1:ssä ilmeni samankaltainen ongelma kuin kaapeli 6#:ssa 10 000 testisyklin aikaan. Kaapeli yhdistää tietokoneet vain sadan megan yhteydellä normaalin 1 gigan sijaan tai se ei saanut välillä yhteyttä ollenkaan. Kun kaapelit irrotettiin testeristä, yhteys kuitenkin palasi, ja kaapelissa oli havaittavissa vain hetkellistä häiriötä. Ethernet-kaapelin yhteyttä seurattiin fluke networkIQ ethernet-testerin avulla ja kaapelia väännettiin eri asentoihin häiriön toistamiseksi.

Häiriö havaittiin testerillä noin 1,5 metrin kohdassa mutta vain hetkellisesti. 1,5 metrin kohdalla kaapeli olisi arviolta korkeudella, jossa ethernet-kaapeli on kontaktissa sitä suojaavaa metalli reititintä vasten. Kaapelissa havaittu vika oli vain hetkellistä eikä vikaa onnistuttu enää toistamaan ilman, että kaapelia olisi rasitettu niin paljon, että vian hakeminen olisi voinut vaurioittaa sitä. Koska vikaa ei onnistuttu toistamaan ja kaapeli toimii nyt moitteettomasti, kaapelia ei avattu sen tarkempaa diagnosointia varten, koska tämä olisi estänyt testin jatkamisen kyseisellä kaapelilla. Kaapeli kiinnitettiin takaisin testipenkkiin ja testejä jatketaan tästä eteenpäin normaaliin tapaan.

## Yleisesti huomattavia ongelmia

Testeissä havaituista ongelmista suurin osa oli ethernet-kaapelin toimintaan liittyviä, joten näin ollen voidaan päätellä että myös normaalissa käytössä ilmenevät ongelmat voivat ensisijaisesti johtua ethernet-kaapelista. Riippuen kaapelin asennuksesta ethernet voi mahdollisesti joutua olemaan kiinni kaapeleita suojaavan metallireitittimen terävää reunaa vasten. Näin ollen on mahdollista, että jos kaapelit asennetaan niin päin että ethernet-kaapeli olisi reitittimen terävää reunaa vasten, se voisi aiheuttaa kaapeleiden ennenaikaista hajoamista. Kaapelin asennustavalla ei kuitenkaan saisi olla vaikutusta kaapelin toimintaan, sillä osan kokoamisen tulisi olla sellainen että siinä ei olisi mahdollisuutta asentaa kaapeleita väärin.

Kaapelit joutuvat joka tapauksessa ottamaan kontaktia niitä suojaavan metallireitittimen reunaan, asennettiin ne reitittimeen miten päin tahansa. Tämä voi pidemmän käytön aikana kuluttaa kaapeleita ja mahdollisesti aiheuttaa kaapelin hajoamista. Reitittimen terävä reuna voi varsinkin vaikuttaa ethernet-kaapelien kestävyYTEEN, sillä niissä on ohuempi suojakerros kuin sähkövirta kaapeleilla. Valotuskaapeli on kaapeleista kaikkein

ohuinta mutta myös kaikkein joustavinta. Myös valotuskaapelin ottaessa kontaktia kyseiseen metallireitittimen reunaan voi se aiheuttaa kaapelin hajoamista.

#### 4 Testauksen tulokset

Testejä jatkettiin, kunnes kaapelit olivat käyneet läpi 62 000 testisykliä, jonka jälkeen kaapeleista otettiin niiden viimeiset mittaustulokset. Kaapeleissa ei tässä vaiheessa ollut havaittavissa mitään isompia poikkeamia, ja kaikki arvot olivat hyvin tavoiteltujen raja-arvojen sisäpuolella.

Koska ethernet-kaapeli #6 vaihdettiin 10 000 testisyklin kohdalla, testausta tuli kuitenkin ajaa vielä 10 000 sykliä, jotta myös uusi kaapeli saavuttaa halutun testisyklimäärän ja muilla kaapeleilla nähtäisiin, saadaanko jo pienellä syklimäärän lisäyksellä aikaan kaapeleiden hajoamista. Kaapelit kävivät testeissä siis lopulta 72 000 liikesykliä, aikaisemmin suunnitellun 62 000 syklin sijaan, lukuun ottamatta ethernet-kaapeli #6:sta, joka suoritti alkuperäisen suunnitelman mukaisen määrän.

Testauksen suoritettua testissä tavoiteltu määrä syklejä kaapeleille tehtiin vielä viimeiset mittaukset jossa havaittiin, että kaapelit täyttivät niille asetetut tavoitteet. Näiden tulosten perusteella pystyttiin päättelemään, että kaapelit toimisivat vielä normaalissa käytössä testauksen jälkeen. Testauksella pystyttiin näin ollen todentamaan että kaapelit kestäisivät oletetusti normaalikäytössä tapahtuvaa käyttöä kymmenen vuotta.

Vaikka kaapeleiden luotettavuus oli todistettu, päätettiin jatkaa vielä pidemmälle. Testejä jatkamalla pyrittiin selvittämään, missä vaiheessa kaapeleihin alkaisi tulemaan vikoja ja millaisia ongelmia niissä havaittaisiin, kun kaapelit olisivat käyneet läpi suuremman määrän toistoja kuin niiden oletetaan tekevän laitteen elinaikana. Elinajanodotteen jälkeiset tulokset on kirjattu elinajanodotteen jälkeiseen kappaleeseen.

#### 4.1 Verkkovirtakaapeleiden AWG 16-johtimet

Taulukko 2. AWG 16-johtimien resistanssi

When (cycles)	AWG 16 wires resistance						
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6
Starting $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
2500	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
5000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
10 000	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
20 000	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
30 000	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,3 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
40 000	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,3 $\Omega$	0,2 $\Omega$
50 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
62 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
72 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$

**Test Status: Pass**

#### Päätelmä AWG-johtimien resistanssiarvoista

Tällä testillä ei ollut ennalta määrättyjä raja-arvoja tai onnistumis-epäonnistumiskriteereitä. Testin tarkoituksena oli että, nähtäisiin, että kaapelit eivät ainakaan täysin ole katkenneet testauksen aikana. Taulukossa 2 nähdään mitatut resistanssiarvot, joiden perusteella voidaan todeta että kaapelit johtavat vielä testissä simulodun syklimäärän jälkeen. Resistanssi testattiin Brymen BM202-multimittarilla, jolla mittaukset otettiin sarjaankytkettyjen AWG-johtimien jokaisen johtimen sarjaan kytketyistä kupari päistä.

Taulukko 3. Jännitehäviö

When (cycles)	AWG 16 wires Voltage Drop						
	Ground	Wire #1	Wire #2	Wire #3	Wire #4	Wire #5	Wire #6
Starting Voltage	996 mV	1013 mV	1008 mV	1008 mV	1010 mV	1006 mV	1012 mV
2500	1033 mV	1049 mV	1067 mV	1062 mV	1059 mV	1060 mV	1060 mV
5000	1060 mV	1080 mV	1106 mV	1092 mV	1090 mV	1099 mV	1100 mV
10 000	1092 mV	1117 mV	1148 mV	1127 mV	1120 mV	1132 mV	1146 mV
20 000	1094 mV	1136 mV	1164 mV	1148 mV	1132 mV	1194 mV	1154 mV
30 000	1091 mV	1136 mV	1159 mV	1126 mV	1140 mV	1235 mV	1125 mV
40 000	1203 mV	1237 mV	1315 mV	1260 mV	1229 mV	1347 mV	1249 mV
50 000	1238 mV	1266 mV	1380 mV	1310 mV	1245 mV	1470 mV	1306 mV
62 000	1199 mV	1281 mV	1308 mV	1295 mV	1206 mV	1307 mV	1280 mV
72 000	1234 mV	1272 mV	1360 mV	1313 mV	1295 mV	1333 mV	1356 mV

**Test Status: Pass**

#### Päätelmä AWG-johtimien-jännitehäviöarvoista

Taulukossa 3 esitellään mitatut jännitehäviöt joiden perusteella voidaan nähdä että johtimen ollessa sarjassa jännitehäviöt ovat sallittujen raja-arvojen sisällä. Kaapeleiden jännitehäviön tulisi olla vähemmän kuin 100 mV metriä kohden, kun testeissä käytetään myös 1 ohmin resistanssia sarjaankytkettyjen kaapeleiden kanssa. Kaapeleiden muodostaessa kuuden kaapelin sarjan, niiden yhteenlaskettu pituus on noin 17,5 metriä. Näin ollen jotta kaapelit läpäisevät jännitehäviö testin onnistuneesti, tulee jännitehäviön olla alle 1750 mV. Jännitehäviötä tapahtuu luonnollisesti myös kaapelit sarjaan kytkvien Molex-liittimien välillä, joten jännitehäviötä ei voida suoraan laskea kaapelin pituudesta.

Kaikki testeissä mitatut arvot olivat hyvin raja-arvojen sisäpuolella. Myös pilaritesteissä mitatut jännitehäviöarvot olivat sallittujen rajojen sisäpuolella. Kaapelitestistä poiketen pilaritestin mittaukset tehtiin yksittäisille kaapeleille. Pilaritestin tuloksiin verrattuna liittimillä ei kuitenkaan vaikuttaisi kovin suurta vaikutusta jännitehäviöön. Pilaritesterin tuloksista lisää liitteessä 2.

Taulukko 4. Eristysvastus

When (cycles)	Isolation strength between AWG 16 wires					
	Ground - Wire #1	Ground - #2	Ground - #3	Ground - #4	Ground - #5	Ground - #6
Starting Isolation Strenght	164,0 GΩ	88,1 GΩ	68,8 GΩ	70,0 GΩ	96,1 GΩ	183,0 GΩ
2500	182 GΩ	94,7 GΩ	72,7 GΩ	73,5 GΩ	103 GΩ	202 GΩ
5000	323 GΩ	168 GΩ	121 GΩ	123 GΩ	181 GΩ	354 GΩ
10 000	259 GΩ	132 GΩ	96,1 GΩ	97,2 GΩ	142 GΩ	294 GΩ
20 000	339 GΩ	177 GΩ	126 GΩ	127 GΩ	187 GΩ	376 GΩ
30 000	237 GΩ	123 GΩ	90,9 GΩ	91,8 GΩ	135 GΩ	270 GΩ
40 000	146 GΩ	80,8 GΩ	62,9 GΩ	63,7 GΩ	86,5 GΩ	164 GΩ
50 000	220 GΩ	113 GΩ	85 GΩ	84,7 GΩ	119 GΩ	241 GΩ
62 000	267 GΩ	132 GΩ	97,6 GΩ	99 GΩ	143 GΩ	286 GΩ
72 000	250 GΩ	127 GΩ	93,4 GΩ	94,1 GΩ	137 GΩ	274 GΩ

**Test Status: Pass**

Päätelmä AWG-johtimien eristysvastuksista

Taulukossa 4 on tulokset eristysvastusmittauksesta, joka toteutettiin käyttäen Fluke 1555 10 kV Insulation testeria. Testerillä syötettiin kahteen eri kaapeliin 1000 voltin jännite ja mitattiin tällöin niiden välinen eristysvastus. Mittaukset tehtiin keltavihreän (testissä nimellä Kevi) maadoituskaapelin ja muiden kaapeleiden välillä mutta muiden kaapeleiden välisiä eristysvahvuuksia ei mitattu. Eristysvastuksen tulee olla yli 400 MΩ tai kaapelit eivät läpäise niille asetettuja vaatimuksia.



## 4.2 Ethernet-kaapelit

Taulukko 5. Ethernet-kaapeliin resistanssi

When (cycles)	Ethernet Shield resistance					
UT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5	Ethernet #6
Starting resistance	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
2500	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
5000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
10 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
20 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
30 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
40 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
50 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
60 000	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$
72 000	0,1 $\Omega$	0,2 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0,1 $\Omega$

**Test Status: Pass**

Päätelmä ethernet-kaapeleiden resistanssiarvoista

Mitattujen resistanssiarvojen perusteella voidaan todeta, että kaapeleiden suojat eivät ole hajonneet ja että ne johtavat vielä testissä simulodun syklimäärän jälkeen. Resistanssi testattiin Brymen BM202 multimittarilla, jolla mittaukset otettiin ethernet-kaapeleiden päissä olevista suojusta.

Taulukko 6. Ethernet-kaapeliin Datansiirtonopeus (Minimiarvon tulee olla vähintään 900 Mb/sekunnissa)

When (cycles)	Ethernet data transfer rate					
UT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5	Ethernet #6
Starting speed	930 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
2500	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
5000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
10 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	928 Mb/s	<b>93,9</b> Mb/s
20 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
30 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
40 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
50 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
60 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s
72 000	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s	934 Mb/s

**Test Status: Pass (Ilman että otetaan huomioon 10 000 testisyklin kohdalla tapahtunutta hajoamista jonka oletettiin olevan valmistusvika)**

Päätelmä ethernet-kaapeleiden tiedonsiirtonopeustestistä

Ethernet-kaapeleilla testattiin myös tiedonsiirtonopeutta, joka toteutettiin kahden tietokoneen avulla. Testattavalla ethernet-kaapelilla kytkettiin yhteen kaksi tietokonetta, jonka jälkeen niiden välillä siirrettiin datapaketteja tietokoneesta toiseen 100 sekunnin ajan, josta sitten mitattiin keskimääräinen tiedonsiirtonopeus sekuntia kohden. Tiedonsiirtonopeuden tulee olla vähintään 900 megabittiä sekuntia kohden, jotta kaapelit läpäisevät testin. Tuloksista nähdään että kaapeleiden nopeus pysyy melko tasaisena 934 megabittiä sekunnissa yhteydessä, mutta jo pieni vika tiputtaa kaapelin nopeuden vain kymmenesosaan siitä. Koska ethernet-kaapeli #6 korvattiin sen hajoamisen jälkeen ja uusi kaapeli kesti testauksen saakka, voidaan todeta että kaapelit täyttävät niiltä vaaditut luotettavuusvaatimukset.

### 4.3 Valotuskaapelit

Taulukko 7. Valotuskaapeleiden resistanssi

When (cycles)	Exposure button cable resistance ( $\Omega$ )												
UT	Cable #1 red (+)	Cable #1 black (-)	#2 (+)	#2 (-)	#3 (+)	#3 (-)	#4 (+)	#4 (-)	#5 (+)	#5 (-)	#6 (+)	#6 (-)	result
Starting resistance	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	Pass
2500	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
5000	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
10 000	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
20 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
30 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	Pass
40 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
50 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	Pass
62 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	Pass
72 000	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	Pass

**Test Status: Pass**

Päätelmä valotuskaapeleiden resistanssiarvoista

Mitattujen resistanssiarvojen perusteella voidaan todeta, että johtimet eivät ole täysin katkenneet testien aikana ja näin ollen pystyisivät myös suorittamaan niiltä vaaditut toiminnot, niiden suoritettua testattu määrä syklejä.

### 4.4 Testauksen lopputulos

Kun testaus saavutti päämääräänsä ja kun kaapeleista oli mitattu kaikki arvot, voitiin olettaa että kaapelit kestäisivät myös normaalikäytössä niiltä vaaditun liikemäärän, jos mahdollisia valmistusvikaisia kaapeleita ei oteta huomioon. Näin ollen kaapelit voitaisiin verifioida ja ottaa tuotannon käyttöön, kuvantamislaitteen uudessa versiossa.

Valitettavasti ethernet-kaapeleista löydetyn valmistusvian takia vaadittu prosenttimäärä kaapeleista ei täyttäisi luotettavuusvaatimuksia ja näin ollen kaapeleita ei voitu vielä verifioida. Tämä voi johtua liian pienestä testattavien kaapeleiden määrästä ja huonosta

tuurista mutta testattavissa ethernet-kaapeleista yksi seitsemästä oli viallinen mikä tarkoittaisi että tämän testierän perusteella vain 85,7 % kaapeleista olisi toimivia ja näin ollen voisivat kestää niiltä vaaditun ajan käyttöä. Tämän tuloksen perusteella ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöksiä oikeasta luotettavuustodennäköisyydestä testauksen pienen kaapelimäärän ja valmistusvian takia. Ethernet-kaapeleista tehtiin myös valmistajalle reklamaatioilmoitus ja toistaiseksi päätettiin odottaa valmistajan selitystä kaapeleissa esiintyneelle vialle ennen kuin kaapeleiden luotettavuus voitaisiin varmistaa.

Vaikka kaapelit eivät vahingoittuneet vakavasti käytössä, huomattiin kuitenkin niitä suojaavan ja ohjaavan metallireitittimen aiheuttavan kaapeleihin kulumaa ja mahdollisesti pidemmällä aikavälillä toimintaa estävää vahinkoa. Näin ollen kaapelien ympärillä olevan metalli reitittimen terävälle reunalle päätettiin tehdä muutoksia, jotta kaapeleiden kuluminen reunaa vasten pystyttäisiin estämään.

Pilaritestauksen tuloksien perusteella päädyttiin myös tekemään pilariin rakenteellisia muutoksia. Näillä muutoksilla ei kuitenkaan tulisi olla merkittävää vaikutusta kaapeleiden toimintaan eikä niiden kestävyys. Näin ollen tehtyjä muutoksia ei tarvitse huomioida testituloksissa eivätkä ne aiheuta kaapelitestauksen toistamista.

#### 4.5 Luotettavuustestauksen jälkeiset testit

Testausta jatkettiin vielä pidemmälle, vaikka luotettavuustestaus oli päättynyt ja kaapelit oli sen tuloksien perusteella voitu verifioida. Testausta jatkamalla pyritään selvittämään, milloin kaapelit alkavat hajoamaan niiden ylitettyä laitteen elinajanodotetta vastaava määrä liiketoistoja. Tämän avulla voitaisiin nähdä, mitkä ovat kriittisiä kohtia kaapeleissa ja reitittimissä, jotka voisivat mahdollisesti hajota ensimmäisenä.

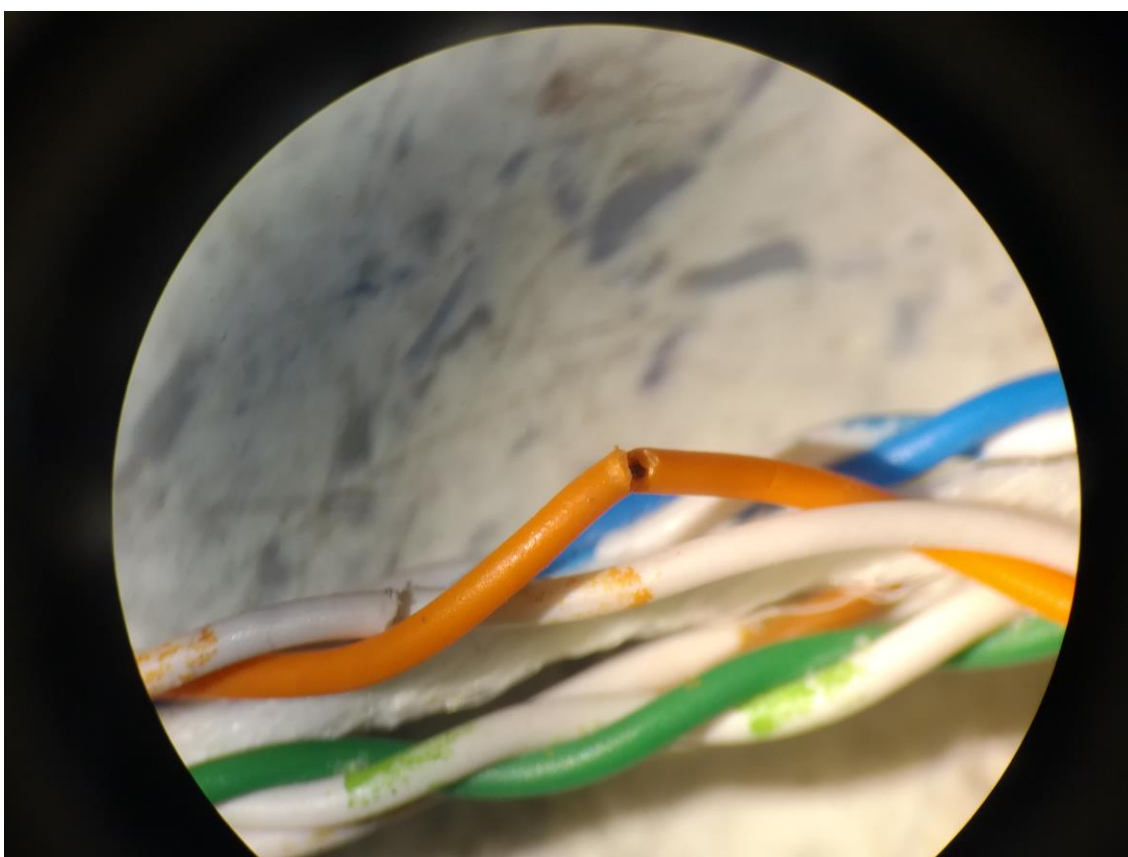
Testikaapeleiden suoritettua 82 000 sykliä havaittiin ethernet-kaapeleissa ja valotuskaapeleissa tuloksia, jotka eivät enää täytä niiltä vaadittuja arvoja. Ethernet-kaapeli #1 ei enää onnistunut yhdistämään verkkoa tietokoneiden välille kunnolla, ja usean yrityksen jälkeen kun yhteys saatiin muodostettua antoi datansiirtonopeus testituloksen 9,4 Mb/sekunnissa, joka oli enää sadasosa vaaditusta nopeudesta. Tästä voitiin päätellä että kaksi parikaapelia on todennäköisesti vaurioitunut ja kaapeli päätettiin kuoria auki, jotta nähtäisiin millaista vikaa niissä on havaittavissa. Myös

ethernet-kaapelissa #6 havaittiin ongelmia jälkeinpäin. Kaapeli oli läpäissyt tiedonsiirtotestin, mutta kun kaapeli irroitettiin testipenkistä valotuskaapelin irrottamista varten, havaittiin cableIQ testerillä että myös siinä on vikaa kahdessa kaapeli parissa. Myös kaapeli #6 päätettiin tämän perusteella kuoria vian havainnoimiseksi.



Kuvio 11. Kuvassa merkittynä millä välillä kaapeleiden #1 ja #6 hajoaminen on tapahtunut.

CableIQ testerillä pystyttiin havaitsemaan, että molemmissa ethernet-kaapeleissa katkeaa yhteys kahdesta kaapeliparista noin 1,7–1,9 metrin kohdalla kuten on merkitty kuvaan 11. Kyseinen kohta kaapelista onkin juuri se, joka joutuu kiertymään ja suoristumaan testauksessa ja normaalissa käytössä, kun laitetta asetellaan potilasta varten oikealle korkeudelle. Kun kaapelit avattiin niissä havaittiin, että kaksi kaapeliparia olivat joko täysin katkenneita tai erittäin hauraasti kiinni molemmissa kaapeleissa. Katkenneissa kohdissa oli havaittavissa pientä tummumista, kuten nähdään kuvassa 12.



Kuvio 12. Kuvassa mikroskoopin läpi otettu kuva ethernet-kaapelin murtumakohdasta. Kaapelissa on kuvassa havaittavissa vain hieman tummumista.

Valotuskaapeleissa huomattiin myös normaalista poikkeavia arvoja 82 000 syklin kohdalla. Resistanssiarvomittauksissa havaittiin että resistanssiarvot olivat huomattavasti normaalia korkeampia. Normaalisti kaapelin resistanssin tuli olla noin 0,1–



0,3 ohmia mutta nyt sekä plus- että miinuskaapelit sarjoista #1 ja #6 antoivat resistanssiarvoja 1 ohmin ja 2 kilo-ohmin väliltä.

Valotuskaapeleita avattaessa kaapelit katkesivat kokonaan, josta voitiin päätellä, että kaapelit olivat enään todella heikosti kiinni toisissaan mittauksien aikana ja pääsivät katkeamaan täysin, kun niiltä poistettiin suojia. Molemmat kaapeleista hajosivat erittäin läheltä toisia ja niissä oli molemmissa havaittavissa, että kaapeli oli poikki kahdesta kohdasta. Hajoamiskohdilla oli vain hieman yli 1 cm etäisyyttä toisistaan, eli on mahdollista, että kaapelit ovat hajonneet niiden ollessa mahdollisesti puristuksissa tai saman rasituskohdan vaikutusalueella testauksessa. Kyseinen hajoamiskohta on erittäin lähellä aikasemminkin käsiteltyä metallireitittimen reunaa, joten on mahdollista, että kaapelit ovat kuluneet sitä vasten kaapeleiden tehdessä liiketoistoa. Arvio kyseisestä hajoamiskohdasta on nähtävissä kuvassa 13.



Kuvio 13. Kuvassa arvio valotuskaapeleiden hajoamispisteestä

Valitettavasti kaapeleiden hajoamiskohdan tarkka arviointi on vaikeaa sillä kaapelit jouduttiin irrottamaan ja niiltä jouduttiin poistamaan kierteet tutkimusten vuoksi. Myös kaapeleiden asennuksissa oli pieniä noin 2–6 cm:n eroja, mikä vaikeuttaa hajoamiskohdan tarkkaa paikantamista.

Valotuskaapelin hajoamiskohdan tarkan selvittämisen vuoksi päätettiin ajaa jäljellä olevia kaapeleita vielä huomattavasti pidemmälle, jotta vastaavanlainen hajoaminen saataisiin toistettua kaapeleissa. Kaapelitesteriä päätettiin ajaa 130 000 testisykliin asti, jonka jälkeen kaapeleille tehtäisiin uusia mittauksia.

## 5 Yhteenveto

Kuten testitulosten päätelmät luvussa todettiin, testauksessa mitattujen arvojen perusteella voidaan todeta, että kaapelit täyttäisivät yrityksen niille säätämät luotettavuusvaatimukset ja näin ollen kaapelit voitaisiin verifioida ja ottaa tuotannon käyttöön, kuvantamislaitteen uudessa versiossa.

Tämä toisaalta toteutuu vain siinä tapauksessa, jos tuloksissa ei oteta huomioon mahdollisia valmistusvikoja joita käsitelimme aikaisemmin ja joiden perusteella teimme kyseisistä kaapeleista myös reklamaatio ilmoituksen valmistajalle. Tämän lopputyön valmistuessa valmistaja ei vielä ollut antanut vastausta reklamaatiosta.

Luotettavuusvaatimustestien lopputulos oli että tavoiteltua luotettavuustasoa ei saavutettu, 10 000 testisyklin kohdalla huomatu vian takia, eli kaikki kaapelit eivät toimisi vaaditun 62 000 testisyklin jälkeen, jos valmistusvial otetaan huomioon. Kaapeleita ei näin ollen voitu vielä verifioida. Jos valmistusvikoja ei otettaisi huomioon, 100 % kaapeleista olisi läpäissyt niiden luotettavuusvaatimukset 62 000 testisyklin jälkeen ja näin ollen saavuttaisivat tavoitellun 90 % luotettavuusarvon, 70 % luottamustasolla.

Vaikka kaapelit täyttävät niiden luotettavuusvaatimukset niitä suojaavaan metalli reitittimeen päätettiin tehdä rakenteellisia muutoksia. Kaapelit joutuvat tekemään niille melko tiukan mutkan tultuaan ulos reitittimestä, jolloin ne joutuvat olemaan reitittimen terävää metalli reunaa vasten. Kyseistä reunaa päätettiin nostaa ja taivuttaa hieman,



jotta kaapelit eivät jatkossa joudu olemaan ainakaan yhtä tiukassa käännöksessä kulmaa vasten.

Pilarit, jotka myös olivat kestotestauksessa läpäisivät niiden luotettavuusvaatimukset ja oltaisiin näin ollen voitu verifioida. Pilaritestaus tuli kuitenkin vielä suorittaa pään kuvantamis tukivarrella varustetulla yksiköllä ennen kuin sitä voitaisiin käyttää verifioimaan uudet pilarit tuotannon käyttöön.

## Lähteet

- 1 Tietoa yrityksestä KavoKerrGroup. Verkkosivu. <<http://www.kavokerr.fi/fi>>. Luettu 10.01.2017
  
- 2 Tietokonetomografiakuvaus. Verkkosivu. <[https://en.wikipedia.org/wiki/CT\\_scan](https://en.wikipedia.org/wiki/CT_scan)>. Luettu 13.01.2017
  
- 3 Tietoa VAVE toimintamallista. Verkkosivu. <<http://www.advice-manufacturing.com/Value-Analysis.html>>. Luettu 10.2.2017
  
- 4 Käyttöopas OP300 kuvantamislaitteelle. Pdf dokumentti. ORTHOPAN-TOMOGRAPH® OP300 Digital Panoramic X-Ray System User Manual 210457 rev. 2 Luettu 30.3.2017
  
- 5 Röntgenkuvaus, digitaalinen kuvaus ja tietokonetomografia. Verkkodokumentti. <[www.oamk.fi/~jjauhiai/opetus/mittalaitteet/mittalaitteet07-v1.1.pdf](http://www.oamk.fi/~jjauhiai/opetus/mittalaitteet/mittalaitteet07-v1.1.pdf)>. Jukka Jauhiainen. Luettu 30.3.2017
  
- 6 Ethernet kaapeli. Verkkosivu. <[tech-support/other-support/ethernet-cable-color-coding-diagram/](http://tech-support/other-support/ethernet-cable-color-coding-diagram/)>. Luettu 16.1.2017
  
- 7 Ethernet kaapeli kuorittuna. Verkkosivu. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted\\_pair#/media/File:S-FTP\\_CAT\\_7.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted_pair#/media/File:S-FTP_CAT_7.jpg)> Luettu 2.2.2017
  
- 8 Kavo Kerr Groupin Aton tietokanta. Tietokantajärjestelmä. Luettu 20.4.2017
  
- 9 Multimittarin tekniset tiedot. RM202 General specifications. Verkkodokumentti. BM 202.pdf <<http://www.tme.eu/en/details/bm202/portable-digital-multimeters/brymen/>> Luettu 12.04.2017
  
- 10 Kaapelitesterin tekniset tiedot. Verkkosivu. <<http://www.flukenetworks.com/enterprise-network/network-testing/CableIQ-Qualification-Tester>> 23.03.2017

- 11 Kuva kaapeli IQ testeristä. Verkkosivu  
<<http://www.directindustry.com/prod/fluke-networks/product-29813-591207.html>>. Luettu 23.03.2017
- 12 Todennäköisyysteoria. Verkkosivu.  
<<https://fi.wikipedia.org/wiki/Todenn%C3%A4k%C3%B6isyysteoria>> Luettu 18.1.2017
- 13 Weibullin kaltevuuskulma. Verkkosivu  
<[http://www.epixanalytics.com/modelassist/AtRisk/Model\\_Assist.htm#Distributions/Continuous\\_distributions/Weibull.htm](http://www.epixanalytics.com/modelassist/AtRisk/Model_Assist.htm#Distributions/Continuous_distributions/Weibull.htm)>. Luettu 1.2.2017
- 14 Luotettavuuslaskenta ja Weibullin hajonta. Verkkosivu.  
<[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/ARM/Failure\\_Distributions.html](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/ARM/Failure_Distributions.html)>. Luettu 1.2.2017
- 15 Eristysvastuksen mittaus. Verkkodokumentti. <FI\_Eristysvastuksen-mittausopas.pdf>. Luettu 6.4.2017
- 16 Ethernet kaapelin datasheet. Verkkodokumentti  
<<https://products.lappgroup.com/online-catalogue/data-communication-systems-for-ethernet-technology/industrial-ethernet-cable-cat5-cat5e/industrial-ethernet/etherline-cat5e-fd.html?format=pdf>>. Luettu 10.1.2017

**Kaapelitesterin raportti**

Product name:	
Related to (add System/Release ID/ECR id):	

## Cables 215724 R1, 213433 R1 and 215723R1 En- durance Test Report

<b>Program:</b>	NGEO	
<b>Document Version:</b>	1.0	
<b>Date:</b>	31.03.2017	
<b>Contributors</b>	<b>Name</b>	<b>Signature/Date</b>
<b>Prepared by:</b>	Joni Heikkonen	
<b>Reviewed by:</b>		
<b>Approved by:</b>		

**Change history:**

Ver.	Status	Date	Author	Major Changes
0.1			Joni Heikkonen	First version of test plan
1.0	Report	31.03.2017	Joni Heikkonen	First version of test report

**1. Introduction**

The purpose of this document is to act as a **Test Report** for the testing of new NGEO column (ATON code 214532) cables and cable routing design. Tests are performed using NGEO x-ray unit's new column cables and custom made testing bench made exclusively for the testing. In these tests the requirement for the column cables is to operate the lifetime equivalent of movement cycles (62 000 cycles). The test was prolonged up to 82 000 cycles to get more data. Measurements are taken from the cables at certain points of lifetime tests and reported on this document.

In this test the cycle is one movement back and forth. Stroke length is about 65 cm, cycle time about 6 seconds. This kind of operation is a lot more demanding than the actual device is capable of, but is mechanically similar for the cables.



Test setup.

## 1.1 REQUIREMENTS TO BE TESTED

### 1.1.1 General

Verifying the reliability of the new column cables after they have gone through their life-time cycle test.

The setup is as in final application (proto mechanics are used) and cable bounding shall be as near as possible to the final implementation.

### 1.1.2 Verification Checkpoints

The verification checkpoints are listed in the table below according to cycle amount (UUT means Unit Under Test).

#	When						
		UUT #1	UUT #2	UUT #3	UUT #4	UUT #5	UUT #6
0	0 Cycles						
1	2,5k Cycles						
2	10k Cycles						
3	20k Cycles						
4	30k Cycles						
5	40k Cycles						
6	50k Cycles						
7	62k Cycles						
8	72k Cycles						
9	82k Cycles						

## 1.2 Test tools

Model	Manufacturer	Description	Equipment ID
NGEO Platform	KKG	Mechanics proto	214532
BM202	Brymen	Multimeter	TKS016
TL-750	Sahitec Oy	Power Supply	SN: 941104
1555 10kV	Fluke	Insulation Tester	ELE032
CableIQ	Fluke	Qualification tester	-
Latitude E6430	Dell	Computer	2z2rvy1
Latitude E6430	Dell	Computer	-

Qualification tester was only used to pinpoint faulty areas in the Ethernet cables.

## 1.3 Limitations

The cable tests are implemented mainly as measurements of selected electrical and mechanical parameters (such as resistance, DC voltage, etc.), meaning that the results may not always match the exact real-life operation of the device.

#### 1.4 TestED OBJECTS and pre-conditions

Cables being tested are cables 215724R1, 213433R1 and 215723R1. There are 6 sets of each cables being tested.

#### 1.5 Test CASES and acceptance criteria

##### 1.5.1 Cable 215723R1 measurements

##### **1.5.1.1 Resistance**

Resistance is measured to make sure that cables are still conductive.

The testing for all cables (except Ethernet cable) is performed using Fluke DVM by measuring the resistance of the wires. If there is a significant change in resistance the test is failed.

**Acceptance criteria: Cable resistance is more than 0,1Ω and less than 1Ω**

When (cycles)	AWG 16 Cables resistance (Ω)							Result
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
Starting Ω	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
2500	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
5000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
10 000	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
20 000	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	Pass
30 000	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	Pass
40 000	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	Pass
50 000	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	Pass
62 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
72 000	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	Pass
82 000	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass



### 1.5.1.2 Voltage Drop

Voltage drop is being measured to make sure there isn't too big voltage drop in the total distance of mains cables when they are connected in series. Test voltage is 20V, current 4A. Total length of the connected cables is about 17m.

**Acceptance criteria: Voltage drop must be less than 100mV/m, for the connected cables the limit is 1700mV.**

When (cycles)	AWG 16 Cables Voltage Drop							Result
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
Starting Voltage	996 mV	1013 mV	1008 mV	1008 mV	1010 mV	1006 mV	1012 mV	Pass
2500	1033 mV	1049 mV	1067 mV	1062 mV	1059 mV	1060 mV	1060 mV	Pass
5000	1060 mV	1080 mV	1106 mV	1092 mV	1090 mV	1099 mV	1100 mV	Pass
10 000	1092 mV	1117 mV	1148 mV	1127 mV	1120 mV	1132 mV	1146 mV	Pass
20 000	1094 mV	1136 mV	1164 mV	1148 mV	1132 mV	1194 mV	1154 mV	Pass
30 000	1091 mV	1136 mV	1159 mV	1126 mV	1140 mV	1235 mV	1125 mV	Pass
40 000	1203 mV	1237 mV	1315 mV	1260 mV	1229 mV	1347 mV	1249 mV	Pass
50 000	1238 mV	1266 mV	1380 mV	1310 mV	1245 mV	1470 mV	1306 mV	Pass
62 000	1199 mV	1281 mV	1308 mV	1295 mV	1206 mV	1307 mV	1280 mV	Pass
72 000	1234 mV	1272 mV	1360 mV	1313 mV	1295 mV	1333 mV	1356 mV	Pass
82 000	1304 mV	1450 mV	1507 mV	1384 mV	1374 mV	1375 mV	1399 mV	Pass

Notes: Starting voltage measured without adapter, all the other measurements taken with adapter.

### 1.5.1.3 Isolation strength

Isolation strength is measured to make sure there isn't a breakthrough between the cables.

**Acceptance criteria: Resistance must be over 400 MΩ.**

When (cycles)	Isolation strenght between AWG 16 cables						Result
	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
Starting Isolation Strength	164,0 GΩ	88,1 GΩ	68,8 GΩ	70,0 GΩ	96,1 GΩ	183,0 GΩ	Pass
2500	182 GΩ	94,7 GΩ	72,7 GΩ	73,5 GΩ	103 GΩ	202 GΩ	Pass
5000	323 GΩ	168 GΩ	121 GΩ	123 GΩ	181 GΩ	354 GΩ	Pass
10 000	259 GΩ	132 GΩ	96,1 GΩ	97,2 GΩ	142 GΩ	294 GΩ	Pass
20 000	339 GΩ	177 GΩ	126 GΩ	127 GΩ	187 GΩ	376 GΩ	Pass
30 000	237 GΩ	123 GΩ	90,9 GΩ	91,8 GΩ	135 GΩ	270 GΩ	Pass
40 000	146 GΩ	80,8 GΩ	62,9 GΩ	63,7 GΩ	86,5 GΩ	164 GΩ	Pass
50 000	220 GΩ	113 GΩ	85 GΩ	84,7 GΩ	119 GΩ	241 GΩ	Pass
62 000	267 GΩ	132 GΩ	97,6 GΩ	99 GΩ	143 GΩ	286 GΩ	Pass
72 000	250 GΩ	127 GΩ	93,4 GΩ	94,1 GΩ	137 GΩ	274 GΩ	Pass
82 000	340 GΩ	165 GΩ	121 GΩ	120 GΩ	181 GΩ	362 GΩ	Pass

## 1.5.2 Ethernet cables measurements

### 1.5.2.1 Resistance

Resistance is measured to make sure that the cable braid are still conductive.

**Acceptance criteria: Cable resistance must be less than 1Ω.**

When (cycles)	Ethernet Shield resistance						Result
UT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5	Ethernet #6	
Starting resistance	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
2500	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
5000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
10 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
20 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
30 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
40 000	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
50 000	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
62 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
72 000	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
82 000	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass

#### 1.5.2.2 Data transfer rate

Measuring data transfer rate ensures that unit is capable of sending taken images taken with it.

**Acceptance criteria: Data transfer rate must be >900Mb/s**

When (cycles)	Ethernet data transfer rate						Result
UUT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5	Ethernet #6	
Starting speed	930	934	934	934	934	934	Pass
2500	934	934	934	934	934	934	Pass
5000	934	934	934	934	934	934	Pass
10 000	934	934	934	934	928	93,9	Fail
20 000	934	934	934	934	934	934	Pass
30 000	934	934	934	934	934	934	Pass
40 000	934	934	934	934	934	934	Pass
50 000	934	934	934	934	934	934	Pass
62 000	934	934	934	934	934	934	Pass
72 000	934	934	934	934	934	934	Pass
82 000	9,4	934	934	934	934	934	Fail

See 1.6 deviations during testing and justification.

### 1.5.3 Exposure switch cables

#### 1.5.3.1 Resistance

Resistance is measured to make sure that cables are still conductive.

**Acceptance criteria: Cable resistance must be less than 1Ω.**

When (cycles)	Exposure button cable resistance												
UT	Cable #1 red (+)	Cable #1 black (-)	Cable #2 (+)	Cable #2 (-)	Cable #3 (+)	Cable #3 (-)	Cable #4 (+)	Cable #4 (-)	Cable #5 (+)	Cable #5 (-)	Cable #6 (+)	Cable #6 (-)	
Starting resistance	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	Pass
2500	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
5000	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
10 000	0,1	0,1	0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
20 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
30 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	Pass
40 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	Pass
50 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	Pass
62 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	Pass
72 000	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	Pass
82 000	2	1,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	33,2 ohmia	2k ohmia	Fail

See 1.6 deviations during testing and justification.

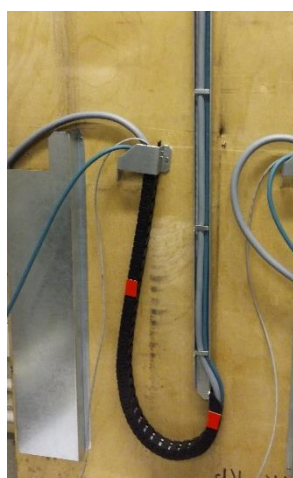
#### 1.6 deviations during testing and JUSTIFICATION

Ethernet test, cable #6 after 10 000 cycles: The data transfer rate was only 93,9 Mb/s. The cable was tested with a Fluke CableIQ Qualification tester, which indicated there are 2 broken wires. The cable was opened for study and individual faults were found, see the picture. This is most likely a cable manufacturing fault and the supplier was claimed after the test.



Ethernet test, cable #1 after 82 000 cycles: The data transfer rate was only 9,4 Mb/s. The cable was opened and similar faults were found as in cable #6 after 10 000 cycles.

In both cases there were several faulty cables in short distance. Faulty area marked between the red lines in the picture below.



Exposure switch cables #1 and #6, Resistance test after 82 000 cycles: Some copper wires were broken and therefore the resistance increased. However, this damage happened after the required lifetime (62 000 cycles).

#### 1.7 conclusion

These tests verify that the new column cables and routing design is capable of operating the expected lifetime of the device.

Report approval: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Date:

(signature and clarification of signatures, date in format DD.MM.YYYY Note, if signatures are captured electronically, mark above N/A and refer to electronic signatures.)

**Liitteen otsikko**

**Pilaritestin raportti**

## Column and Cables 215724 R1, 213433 R1 and 215723R1 Endurance Test Report

<b>Program:</b>	NGEO	
<b>Document Version:</b>	1.0	
<b>Date:</b>	24.04.2017	
<b>Contributors</b>	<b>Name</b>	<b>Signature/Date</b>
<b>Prepared by:</b>	Joni Heikkonen	
<b>Reviewed by:</b>		
<b>Approved by:</b>		

**Change history:**

Ver.	Status	Date	Author	Major Changes
0.1			Joni Heikkonen	First version of test plan
1.0	Report	24.04.2017	Joni Heikkonen	First version of test report

## 1. Introduction

The purpose of this document is to act as a **Test Report** for the testing of new NGE0 column (ATON code 214532) cables and also the new NGE0 column with its Z-motor and all necessary parts needed for column patient positioning movement. Tests are performed using NGE0 x-ray unit's new column with cables and custom made control box which drives the column motor. In these tests there is 5 columns in the testing and requirement for the column cables is to operate the lifetime equivalent of movement cycles (65 000 cycles). Measurements are taken from the cables at the end of the testing and reported on this document.

In this test the cycle is one movement to up and down. Stroke length is about 20 cm so total 40 cm for one cycle and, cycle time is about 84 seconds.





Test setup.

## 1.1 REQUIREMENTS TO BE TESTED

### 1.1.1 General

Verifying the reliability of the new column and its cables after they have gone through their lifetime cycle test.

The setup is as in final application (proto mechanics are used) shall be as near as possible to the final implementation.

### 1.2 Test tools

Model	Manufacturer	Description	Equipment ID
NGEO Platform	KKG	Mechanics proto	214532
BM202	Brymen	Multimeter	TKS016
TL-750	Sahitec Oy	Power Supply	SN: 941104
1555 10kV	Fluke	Insulation Tester	ELE032
CableIQ	Fluke	Qualification tester	-
Latitude E6430	Dell	Computer	2z2rvy1
Latitude E6430	Dell	Computer	-
Control box	Joni Heikkonen	Control used to operate column motor	-

Qualification tester was only used to pinpoint faulty areas in the Ethernet cables.

### 1.3 Limitations

The cable tests are implemented mainly as measurements of selected electrical and mechanical parameters (such as resistance, DC voltage, etc.), meaning that the results may not always match the exact real-life operation of the device.

#### 1.4 TestED OBJECTS and pre-conditions

Column in testing is 214532. Cables being tested are cables 215724R1, 213433R1 and 215723R1. There are 5 sets of columns and each cables being tested.

#### 1.5 Test CASES and acceptance criteria

##### 1.5.1 Cable 215723R1 measurements

Unlike in cables endurance test report, these 215723R1 cables weren't connected together with Molex connectors so measurements from separate wires had to be taken one by one.

##### **1.5.1.1 Resistance**

Resistance is measured to make sure that cables are still conductive.

The testing for all cables (except Ethernet cable) is performed using Fluke DVM by measuring the resistance of the wires. If there is a significant change in resistance the test is failed.

**Acceptance criteria: Cable resistance must be less than 1Ω.**

Column 1								
When (cycles)	AWG 16 wires resistance (Ω)							Result
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
Column 2								
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
Column 3								
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
Column 4								
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass
Column 5								
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Pass

#### 1.5.1.2 Voltage Drop

Voltage drop is being measured to make sure there isn't too big voltage drop in the total distance of mains cables when they are connected in series. Test voltage is 20V, current 4A. Total length of the connected cables is about 17m.

**Acceptance criteria: Voltage drop must be less than 100mV/m, for the connected cables the limit is 1700mV.**

Column 1

When (cycles)	AWG 16 wires Voltage Drop							Result
	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	19,62V	18,70 V	19,50 V	19,95 V	20,20 V	21,83 V	21,22 V	Pass

Column 2

	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	19,35 V	20,54 V	18,62 V	20,02 V	19,86 V	19,62 V	19,65 V	Pass

Column 3

	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	19,68 V	18,54 V	18,86 V	20,06 V	20,43 V	20,43 V	20,32 V	Pass

Column 4

	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	19,42 V	18,48 V	18,74 V	19,58 V	19,76 V	21,22 V	21,01 V	Pass

Column 5

	Ground	Cable #1	Cable #2	Cable #3	Cable #4	Cable #5	Cable #6	
65 000	19,38 V	18,42 V	18,69 V	19,58 V	20,10 V	21,55 V	21,06 V	Pass

Notes: Starting voltage measured without adapter, all the other measurements taken with adapter.

### 1.5.1.3 Isolation strength

Isolation strength is measured to make sure there isn't a breakthrough between the cables.

**Acceptance criteria: Resistance must be over 400 MΩ.**

Column 1

When (cycles)	Isolation strenght between AWG 16 wires						Result
	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
65 000	1,06 TΩ	537 GΩ	407 GΩ	411 GΩ	541 GΩ	1,04 TΩ	Pass

Column 2

	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
65 000	1,06 TΩ	584 GΩ	458 GΩ	445 GΩ	625 GΩ	1,06 TΩ	Pass

Column 3

	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
65 000	1,06 TΩ	570 GΩ	416 GΩ	519 GΩ	540 GΩ	1,04 TΩ	Pass

Column 4

	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
65 000	1,02 TΩ	628 GΩ	414 GΩ	413 GΩ	569 GΩ	1,06 TΩ	Pass

Column 5

	Ground - Cable #1	Kevi - #2	Kevi - #3	Kevi - #4	Kevi - #5	Kevi - #6	
65 000	819 GΩ	486 GΩ	366 GΩ	375 GΩ	495 GΩ	951 GΩ	Pass

## 1.5.2 Ethernet cables measurements

### 1.5.2.1 Resistance

Resistance is measured to make sure that the cable braid are still conductive.

**Acceptance criteria: Cable resistance must be less than 1Ω.**

When (cycles)	Ethernet Shield				
UT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5
65 000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

### 1.5.2.2 Data transfer rate

Measuring data transfer rate ensures that unit is capable of sending taken images taken with it.

**Acceptance criteria: Data transfer rate must be >900Mb/s**

When (cycles)	Ethernet data transfer rate				
UT	Ethernet #1	Ethernet #2	Ethernet #3	Ethernet #4	Ethernet #5
65 000	934	934	934	934	934

**SEE 1.6 DEVIATIONS DURING TESTING AND JUSTIFICATION.**

### 1.5.3 Exposure switch cables

#### 1.5.3.1 Resistance

Resistance is measured to make sure that cables are still conductive.

**Acceptance criteria: Cable resistance must be less than 1Ω.**

When (cycles)	Exposure button cable									
UT	Column #1 red (+)	Column #1 black (-)	Column #2 (+)	Column #2 (-)	Column #3 (+)	Column #3 (-)	Column #4 (+)	Column #4 (-)	Column #5 (+)	Column #5 (-)
Starting resistance	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

## SEE 1.6 DEVIATIONS DURING TESTING AND JUSTIFICATION.

### 1.6 deviations during testing and JUSTIFICATION

### 1.7 conclusion

These tests verify that the new column with its cables is capable of operating the expected lifetime of the device.

Report approval: \_\_\_\_\_

Date:

(signature and clarification of signatures, date in format DD.MM.YYYY Note, if signatures are captured electronically, mark above N/A and refer to electronic signatures.)